

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA DALZOTO MAZZUTTI

**A CONSTRUÇÃO COLETIVA DO FATO CIENTÍFICO ÁCIDO RIBONUCLEICO:
ABORDAGEM HISTÓRICA-EPISTEMOLÓGICA “MUNDO DE RNA” NA
PERSPECTIVA DE FLECK**

PONTA GROSSA

2026

GABRIELA DALZOTO MAZZUTTI

**A CONSTRUÇÃO COLETIVA DO FATO CIENTÍFICO ÁCIDO RIBONUCLEICO:
ABORDAGEM HISTÓRICA-EPISTEMOLÓGICA “MUNDO DE RNA” NA
PERSPECTIVA DE FLECK**

***The collective construction of the scientific fact ribonucleic acid: historical-
epistemological approach to the "RNA World" from Fleck's perspective***

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciência
e Tecnologia do Programa de Pós-graduação em
Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Danislei Bertoni

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Lia Maris Orth Ritter
Antiqueira

PONTA GROSSA

2026



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



GABRIELA DALZOTO MAZZUTTI

A CONSTRUÇÃO COLETIVA DO FATO CIENTÍFICO ÁCIDO RIBONUCLEICO: ABORDAGEM HISTÓRICA-EPISTEMOLÓGICA "MUNDO DE RNA" NA PERSPECTIVA DE FLECK

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ensino De Ciência E Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Ciência, Tecnologia E Ensino.

Data de aprovação: 11 de Maio de 2026

Dr. Danislei Bertoni, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Diego Machado Ozelame, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Elaine Ferreira Machado, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Lia Maris Orth Ritter Antikeira, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Lucken Bueno Lucas, Doutorado - Universidade Estadual do Norte do Paraná (Uenp)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 11/05/2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador professor doutor Danislei Bertoni, pela paciência e compreensão. Agradeço também ao meu irmão Rafael, por me escutar falar sobre Biologia e Educação em todos os momentos.

"[...] em 900 anos de tempo e espaço,
nunca conheci ninguém que não fosse
importante" (Doctor Who, 2010).

RESUMO

A Biologia Celular e Molecular (BCM) estuda a vida e suas pequenas unidades de construção, como as células e suas micro e macromoléculas. O ensino e o aprendizado da BCM são comumente associados como complexos, especialmente devido aos termos técnicos e a falta de conexão com os conhecimentos científicos. Desse meio, nota-se uma grande lacuna para com os ácidos nucleicos, particularmente o ácido ribonucleico, conhecido por sua sigla inglesa RNA, que deriva de *ribonucleic acid*. Recentemente, o RNA foi introduzido nos livros didáticos nos conteúdos de origem da vida, correlacionando-o com o chamado “Mundo de RNA”, o qual aponta essa macromolécula como precursora da vida. Considerando que a inserção da História da Ciência pode corroborar no ensino ao proporcionar uma comunhão entre o saber científico e seus personagens; e tomando como base a Epistemologia de Ludwik Fleck (1896 - 1961), o presente trabalho teve como objetivo geral analisar os contextos histórico-epistemológicos que constituíram as hipóteses e teorias acerca do ácido ribonucleico no Mundo de RNA, e levaram à construção do Fato Científico pela Epistemologia de Fleck para o Ensino de Biologia. Considerando os objetivos específicos de: elaborar uma síntese histórica-epistemológica sobre o ácido ribonucleico e o Mundo de RNA; avaliar a presença, pela abordagem histórica-epistemológica, do ácido ribonucleico, no conteúdo relativo ao Mundo de RNA, nos livros didáticos de Biologia e em livros acadêmicos, identificando a presença de elementos bibliográficos e fotográficos; construir um material pedagógico, livro digital, que auxilie na inserção da história epistemológica da Ciência nos conteúdos de RNA, nas aulas de Biologia. Com caráter qualitativo, exploratório, de natureza bibliográfica e documental; os procedimentos metodológicos foram divididos em três etapas: inicialmente, ocorreu uma construção de uma síntese e análise de fontes primárias e secundárias, na qual foi (re)construída a história do RNA ao Mundo de RNA, atribuindo a Epistemologia de Fleck. Na segunda etapa, ocorreu a análise de conteúdo em livros didáticos (Programa Nacional do Livro e do Material Didático de 2021) e livros acadêmicos (considerando os planos de ensino das disciplinas de Biologia Celular 1 e 2 do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa); sendo avaliado a presença do conteúdo de RNA no Mundo de RNA pela abordagem histórica-epistemológica e elementos históricos. A terceira etapa foi a construção do livro digital, que passou pela validação inicial, realizada por seis indivíduos formados no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, e atuantes na área, a partir de um formulário *online*. A Epistemologia de Fleck colaborou com uma visão crítica do trabalho coletivo de pesquisa, fomentando a história da construção do Fato do Mundo de RNA como uma hipótese criada pelo Coletivo de Pensamento de uma combinação de cientistas. Os livros analisados apresentaram uma divergência de dados ao “criador” da hipótese, além de pouco material associado à História da Ciência. A validação inicial do livro digital evidenciou a eficácia da Epistemologia de Fleck e dos elementos de inserção histórica-científicas para a compreensão do conteúdo de Mundo de RNA.

Palavras-chave: epistemologia de Fleck; História Epistemológica da Ciência; RNA; livros didáticos; livros acadêmicos; ensino de Biologia.

ABSTRACT

Cellular and Molecular Biology (CMB) studies life and its small building blocks, such as cells and their micro and macromolecules. The teaching and learning of CMB is commonly associated with complexity, especially due to technical terms and a lack of connection to scientific knowledge. Within this context, a significant gap is noted regarding nucleic acids, particularly ribonucleic acid, known by its English acronym RNA. Recently, RNA has been introduced into textbooks within the context of the origin of life, correlating it with the so-called "RNA World," which points to this macromolecule as a precursor to life. Considering that the inclusion of the History of Science can contribute to teaching by providing a connection between scientific knowledge and its key figures; based on the Epistemology of Ludwik Fleck (1896-1961), this work aimed to analyze the historical-epistemological contexts that constituted the hypotheses and theories about ribonucleic acid in the RNA World, and led to the construction of the Scientific Fact by Fleck's Epistemology for Biology teaching. Specific objectives included: elaborating a historical-epistemological synthesis on ribonucleic acid and the RNA World; evaluating the presence, through a historical-epistemological approach, of ribonucleic acid in the content related to the RNA World in Biology textbooks and academic books, identifying the presence of bibliographic and photographic elements; and constructing a pedagogic material, a digital book, to assist in the insertion of the epistemological history of Science into RNA content in Biology classes. The study was qualitative, exploratory, bibliographic, and documentary in nature. The methodological procedures were divided into three stages: initially, a synthesis and analysis of primary and secondary sources was constructed, in which the history of RNA was (re)constructed in the RNA World, attributing Fleck's Epistemology. In the second stage, content analysis was conducted on textbooks (National Textbook and Didactic Material Program of 2021) and academic books (considering the teaching plans of the Cellular Biology 1 and 2 of the Biological Sciences degree program at the Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Ponta Grossa); the presence of RNA content in the RNA World was evaluated through a historical-epistemological approach and historical elements. The third stage was the construction of the digital book, which underwent initial validation by six individuals who graduated from the Biological Sciences degree program and are working in the field, using an online form. Fleck's epistemology contributed a critical view of collective research work, fostering the history of the construction of the RNA World Fact as a hypothesis created by a collective of scientists. The books analyzed presented a divergence of data regarding the "creator" of the hypothesis, in addition to little material associated with the History of Science. The initial validation of the digital book highlighted the effectiveness of Fleck's epistemology and the elements of historical-scientific insertion for understanding the content of RNA World.

Keywords: Fleck's epistemology; history of science; RNA; textbooks; academic books; biology teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do DNA à proteína	19
Figura 2 – Estrutura dos ribonucleotídeos	20
Figura 3 – Ludwik Fleck (1896 - 1961)	22
Figura 4 – Marianne Grunberg-Manago (1921 - 2013)	43
Figura 5 – Severo Ochoa (1905 - 1993).....	44
Figura 6 – Hidrólise do polímero A-G-U-C com ácido perclórico.....	48
Figura 7 – Arthur Kornberg (1918 - 2007).....	49
Figura 8 – George Gamow (1904 – 1968).....	50
Figura 9 – Francis Crick (1916 – 2004); James Watson (1928-2025).....	51
Figura 10 – Clube do RNA, Portugal Place, Cambridge, Inglaterra (1955)	55
Figura 11 – Mahlon Hoagland (1921 - 2009); Paul Zamecnik (1912 - 2009).....	58
Figura 12 – Aaron Klug (1926 - 2018).....	60
Figura 13 – tRNA ^{PHE} de levedura (equipe Klung).....	61
Figura 14 – Alexander Rich (1924 - 2015) e Kim Sung-Hou (1937 -).....	62
Figura 15 – tRNA ^{PHE} de levedura (equipe Rich)	63
Figura 16 – Alexander Spirin (1931 - 2020); Andrey Belozersky (1905 - 1972)..	65
Figura 17 – François Jacob (1920 – 2013); Jacques Monod (1910 - 1976)	67
Figura 18 – Hildegard Lamfrom (1922 - 1984)	68
Figura 19 – François Gros (1925 - 2022) e Sydney Brenner (1927 - 2019).....	70
Figura 20 – Sydney com Francis Crick, assinando o quadro no LMB.....	72
Figura 21 – Cena do programa " <i>Visa pour l'avenir</i> " (1964)	72
Figura 22 – Aleksandr Ivanovich Oparin (1894 - 1980).....	73
Figura 23 – Carl Woese (1928 – 2012).....	79
Figura 24 – Leslie Orgel (1927 – 2007).....	81
Figura 25 – Formação de um <i>loop</i> de RNA	82
Figura 26 – Jack William Szostak (1952)	87
Figura 27 – Representação da hipótese do “mundo de RNA”	90
Figura 28 – Químico britânico John David Sutherland (1962-).....	92
Figura 29 – Possível roteiro para o “mundo de RNA”	93
Figura 30 – Carl Woese (1928-2012)	95
Figura 31 – Linha de tempo para o universo	96
Figura 32 – Capa do livro digital	97
Figura 33 – Exemplo de paleta de cores	98

Figura 34 – “Sessão Pipoca”	98
Figura 35 – “O que acontecia no mundo?” e “O que acontecia no Brasil?”	99
Figura 36 – “Foi professor”	99
Figura 37 – “Virou Notícia” e “Entrevista com o cientista”	100
Figura 38 – “ <i>PRINT</i> do cientista” e “Como era o cientista”	101
Figura 39 – “O que disse o cientista?”	101
Figura 40 – “Reconhecimento Nobel”	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conceitos da Epistemologia de Ludwik Fleck	31
Quadro 2 – Livros didáticos selecionados.....	34
Quadro 3 – Livros acadêmicos selecionados	35
Quadro 4 – Elementos de abordagem da História da Ciência no livro digital ..	36
Quadro 5 – Membros do <i>RNA Tie Club</i>	52
Quadro 6 – Local do conteúdo de Mundo de RNA nos livros didáticos.....	85
Quadro 7 – Local do conteúdo do Mundo de RNA nos livros acadêmicos.....	92
Quadro 8 – Respostas das questões descritivas referentes às sessões de História da Ciência.....	104
Quadro 9 – Respostas das questões descritivas referentes a construção e História Epistemológica da Ciência.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADP	<i>Adenosine diphosphate</i> (adenosina difosfato)
ARG	Arginina
ASN	Asparagina
ASP	Aspartato
ATP	<i>Adenosine triphosphate</i> (adenosina trifosfato)
BCM	Biologia Celular e Molecular
Caltech	<i>California Institute of Technology</i> (Instituto de Tecnologia da Califórnia)
CDP	<i>Cytidine diphosphate</i> (difosfato de citidina)
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CNT	Ciências da Natureza e suas Tecnologias
CRISPR	<i>Clustered regularly interspaced short palindromic repeat</i> (repetição palíndrômica curta agrupada regularmente intercalada)
CYS	Cisteína
DNA	<i>Deoxyribonucleic acid</i> (ácido desoxirribonucleico)
E-book	<i>Eletronic book</i> (livro eletrônico)
GDP	<i>Guanosine diphosphate</i> (difosfato de guanosina)
GLN	Glutamina
GLU	Glutamato
GLY	Glicina
HFC	História e Filosofia da Ciência
HIS	Histidina
IDP	<i>Inosine diphosphate</i> (difosfato de inosina)
ILE	Isoleucina
INA	<i>Institut national de l'audiovisuel</i> (Instituto Nacional do Audiovisual)
IST	Infecção sexualmente transmissível
LEU	Leucina
LMB	<i>Laboratory of Molecular Biology</i> (Laboratório de Biologia Molecular)
LYS	Lisina
MET	Metionina
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)
MRC	<i>Medical Research Council</i> (Conselho de Pesquisa Médica)
mRNA	RNA mensageiro

ncRNA	RNA não codificadores
PHE	Fenilalanina
PNLD	Programa Nacional do Livro e do Material Didático
PRO	Prolina
RIUT	Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
RNA	<i>Ribonucleic acid</i> (ácido ribonucleico)
rRNA	RNA ribossômicos
SER	Serina
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
THR	Treonina
tRNA	RNA transportadores
TRP	Triptofano
TYR	Tirosina
UDP	<i>Uridine diphosphate</i> (difosfato de uridina)
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VAL	Valina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	EMBASAMENTOS DO RNA À EPISTEMOLOGIA DE FLECK	19
2.1	O que é o ácido ribonucleico (RNA)?	19
2.2	O ensino da Biologia Celular e Molecular (BCM) e o livro didático	21
2.3	Breve histórico sobre Ludwik Fleck	22
2.3.1	Epistemologia de Fleck	24
3	PROCESSOS METODOLÓGICOS.....	30
3.1	Primeira etapa: síntese e análise de fontes primárias e secundárias	30
3.2	Segunda etapa: análise de conteúdo em livros	32
3.2.1	Livros didáticos selecionados para análise	33
3.2.2	Livros acadêmicos selecionados para análise	35
3.3	Construção do produto educacional: livro digital.....	36
3.3.1	Elementos de abordagem da História da Ciência no livro digital.....	36
3.3.2	Instrumentos para a validação inicial do produto educacional	38
<u>3.3.2.1</u>	<u>Perfil dos participantes e coleta de dados</u>	<u>38</u>
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	Síntese e análise das fontes primárias e secundárias sobre o RNA	41
4.1.1	Síntese de RNA (1954 - 1955)	42
4.1.2	Clube da Gravata: faça ou morra, ou não tente (1954)	49
4.1.3	Dogma central (1957 - 1958).....	55
4.1.4	RNA transportador (tRNA) (1958 – 1974)	57
<u>4.1.4.1</u>	<u>A descoberta do tRNA.....</u>	<u>57</u>
<u>4.1.4.2</u>	<u>A determinação da estrutura tridimensional do tRNA.....</u>	<u>59</u>
4.1.5	Evidência do RNA mensageiro (mRNA) (1957-1961)	64
<u>4.1.5.1</u>	<u>O papel do mRNA</u>	<u>66</u>
<u>4.1.5.2</u>	<u>Isolamento do mRNA (1961).....</u>	<u>69</u>
4.2	O nascer do “Mundo de RNA”.....	73
4.2.1	Primeiro Simpósio Internacional sobre a Origem da Vida (1957 - 1959).....	73
4.2.2	Primeira formulação oficial da hipótese Mundo de RNA (1962)	77
4.2.3	Woese e seu papel na hipótese (1967 - 2005).....	78
4.2.4	Nascimento do termo (1986).....	84

4.3	Análise de Conteúdo dos livros	85
4.3.1	Análise dos livros didáticos	85
4.3.2	Análise dos livros acadêmicos	92
4.4	Livro digital: “Os membros ocultos do Clube da Gravata: o Mundo de RNA”	96
4.4.1	Validação inicial do produto educacional.....	102
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
	REFERÊNCIAS.....	110
	ANEXO A - Plano de ensino da disciplina Biologia Celular 1	123
	ANEXO B - Plano de ensino da disciplina Biologia Celular 2	126
	ANEXO C - Plano de ensino da disciplina Biologia Celular e Molecular e Noções de Biotecnologia	129

1 INTRODUÇÃO

A Biologia Celular e Molecular (BCM) está relacionada à maioria dos conteúdos atribuídos à Biologia em geral, especialmente considerando elementos do cotidiano. Embora seja associado a todos os processos biológicos e fisiológicos da vida, os conteúdos de BCM ainda são vistos como complexos, e consequentemente, difíceis de aprender e ensinar. Essa lacuna no ensino foi evidente durante os semestres em que a autora atuou como monitora da disciplina de “Biologia Celular e Molecular e Noções de Biotecnologia”, no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* Ponta Grossa. Os graduandos traziam, como bagagem do Ensino Médio, a ideia difundida de uma disciplina abstrata, conteudista e de difícil compreensão.

Consequentemente, tal complexidade do conteúdo afetava a produção de material didático pelos estudantes — atividade presente no conteúdo programático da disciplina — que indicavam a dificuldade com as terminologias, assim como a falta de conexão com os conhecimentos científicos e os indivíduos responsáveis por essas. Isso impedia, na maioria das vezes, o prazer por aprender esses conteúdos, o que remetia à toda carreira acadêmica, visto que os conceitos de BCM são atrelados às demais disciplinas do curso.

Santos (2020) afirma que essa prevalência da abordagem descritiva dos conteúdos de BCM diretamente corrobora com o afastamento do estudante a estes conhecimentos. Relacionado a isso, é atribuído o fato de os saberes científicos de BCM serem correlacionados a nomes de cientistas específicos, sem maiores menções sobre suas construções para as “respostas” da Ciência. Segundo Zanon e Machado (2013, p. 47), “as concepções de ciências e de cientista amplamente difundidas pelos meios de comunicação constroem uma visão deformada e divulgam o trabalho e as atividades científicas resumidas somente à experimentação e às grandes descobertas”. Neste aspecto, desenvolve-se a construção da visão errônea do que é o “fazer ciência” e um distanciamento dos indivíduos que atuam nesta.

Considerando o distanciamento dos discentes e docentes com os conteúdos de BCM, propõem-se a busca por uma abordagem que conecte o estudante ao conteúdo, assim como auxilie o professor em sua atividade em sala de aula: “É importante desenvolver com os alunos a ideia de que a ciência foi e é construída por

cientistas que se dedicaram muito, cometeram diversas tentativas frustradas até chegar a um resultado final” (Breunig; Amaral; Goldschmidt, 2019, p. 136).

Neste contexto, adentra a História e Filosofia da Ciência (HFC), numa união de educadores, filósofos e historiadores das Ciências, para a implementação da discussão da historicidade no ensino (Forato, 2019) e da promoção da aproximação do sujeito-estudante com a construção do conhecimento, para qual Matthews (1995, p. 187) indica que a história e a filosofia “podem dar às idealizações em ciência uma dimensão mais humana e compreensível e podem explicá-las como artefatos dignos de serem apreciados por si mesmos”.

A linha de pesquisa associada à HFC propõe uma base teórica com diferentes dimensões, que atuam na comunhão do saber científico com seus personagens. Quando apresentada em material educacional, deve prezar por recortes delineados que não distorcem os acontecimentos, sem tornar uma caricatura deste momento histórico, auxiliando a fortalecer o pensamento crítico dos estudantes (Matthews, 1995; Martins, 2007).

Diante disso, a autora buscou na monografia “Abordagem histórico-filosófica da Biologia Celular e Molecular: a discrepância presente nos livros didáticos” (Mazzutti, 2023), a elaboração de uma síntese histórica da BCM, apresentando a maioria dos cientistas envolvidos na construção do conhecimento, desde a composição da célula à síntese proteica e o uso biotecnológico; para então realizar uma análise de conteúdo com livros didáticos do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) de 2016. Como resultado, o ensino das macromoléculas da vida — em especial, os ácidos nucleicos — foram as que apresentaram maior divergência histórica; razão pela qual foi elaborado um material — livro digital interativo — focando na história do ácido desoxirribonucleico (conhecido pela sigla em inglês de *deoxyribonucleic acid*, DNA), para ser utilizado como material complementar pelos docentes.

Todavia, não se pode assegurar que a inserção em materiais didáticos irá garantir que a abordagem histórica-filosófica da Ciência seja trabalhada em sala de aula. Martins (2007) defende que a principal dificuldade da abordagem HFC está em utilizar dessa para fins didáticos, ressaltada pela ausência de materiais pedagógicos adequados. Em adição, embora os livros didáticos sejam materiais importantes e indispensáveis para o contexto escolar, Moura *et al.* (2013) afirmam que, dentre os problemas associados à formação docente e os conteúdos abstratos, o uso do livro

didático como único instrumento na prática educacional colabora para o “abismo” no Ensino de Biologia.

Ainda em consideração à divergência histórica dos ácidos nucleicos (Mazzutti, 2023), o com maior escassez teórica foi o ensino sobre o ácido ribonucleico — conhecido popularmente no Brasil por sua sigla inglesa RNA (*ribonucleic acid*). Em comparação ao PNLD 2016 previamente analisado, no PNLD 2021 as obras didáticas foram reorganizadas em “Ciências da Natureza e suas Tecnologias” (Brasil, 2020b), no qual o conteúdo de RNA foi inserido, em algumas das obras, junto ao tema “Mundo de RNA”, sendo trabalhado com as teorias de origem da vida. Ponderando sobre isso, o RNA se tornou o objeto de pesquisa dessa dissertação.

Diante disso, buscou-se por uma abordagem que corroborasse com a construção de visões adequadas da Ciência e de seus personagens históricos, de modo a fomentar a aproximação conteúdo-estudante, para qual, a Epistemologia de Fleck (2010) emergiu como proposta pelo professor orientador. Essa “é caracterizada por sua oposição à concepção positivista de Ciência, a qual contempla essencialmente aspectos históricos, sociais e epistemológicos da Ciência” (Souza; Aires, 2019, p. 1).

Ludwik Fleck (2010), em sua obra “Gênese e desenvolvimento de um fato científico”, foi pioneiro em abordar que a Ciência deve ser vista como uma ação cooperativa que une cientistas para a compreensão de um saber. Condé (2005) discerne que a obra de Fleck (2010) é relevante para a compreensão do processo de construção do conhecimento, do qual Fleck denomina de “Fato Científico” — composto por um “complexo processo de interações” dentro (e fora) da comunidade científica — tendo como base fatores históricos e sociais.

Visto isso, como a Epistemologia de Fleck (2010) pode colaborar para a inserção da abordagem histórica-epistemológica da Ciência no ensino do ácido ribonucleico? Pretende-se responder à essa questão pela inter-relação da Epistemologia de Ludwik Fleck sobre o conceito do Fato Científico, o RNA, analisando a história deste conhecimento, considerando o contexto, percurso e especialmente, o ato coletivo desse saber que levaram à construção do Mundo de RNA.

O objetivo geral é analisar os contextos histórico-epistemológicos que constituíram as hipóteses e teorias acerca do ácido ribonucleico (RNA) no Mundo de RNA, e levaram à construção do Fato Científico pela Epistemologia de Ludwik Fleck para o Ensino de Biologia.

Considerando os objetivos específicos de: elaborar uma síntese histórica-epistemológica sobre o ácido ribonucleico e o Mundo de RNA; avaliar a presença, pela abordagem histórica-epistemológica, do ácido ribonucleico, no conteúdo relativo ao Mundo de RNA, nos livros didáticos de Biologia e em livros acadêmicos, identificando a presença de elementos bibliográficos e fotográficos; construir um material pedagógico — livro digital — que auxilie na inserção da história epistemológica da Ciência nos conteúdos de RNA, nas aulas de Biologia.

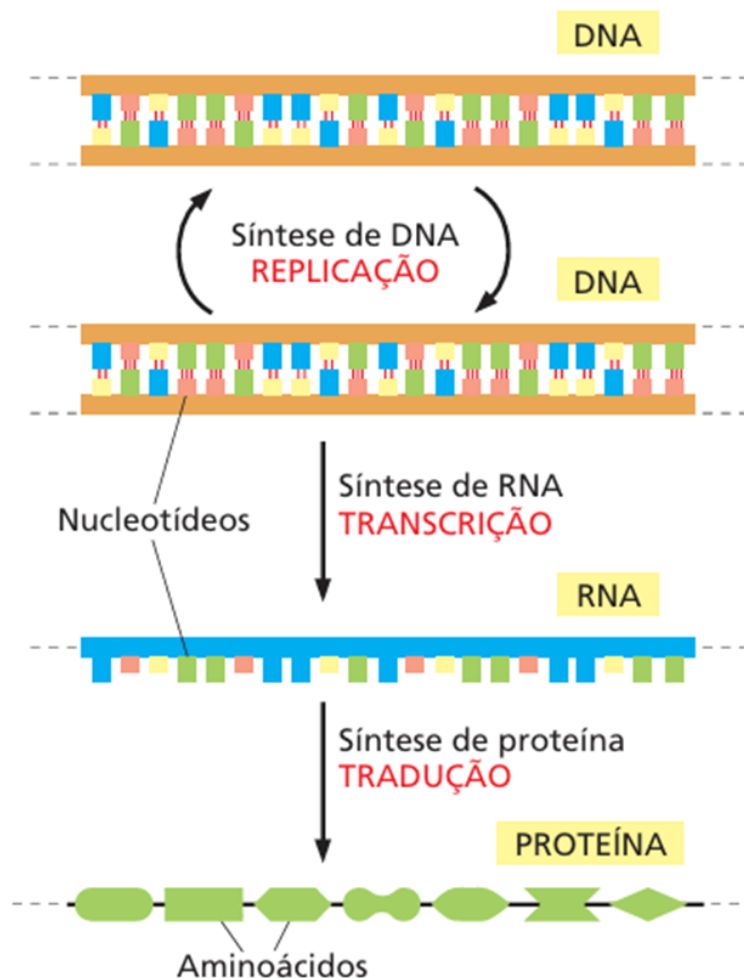
Desta forma, os capítulos foram organizados em: Embasamentos do RNA à Epistemologia de Fleck, em que foi abordado sobre o que é o ácido ribonucleico (RNA); o ensino da Biologia Celular e Molecular (BCM) e o livro didático; e realizado um breve histórico sobre Ludwik Fleck e sua Epistemologia. Na sequência, os processos metodológicos: a primeira etapa, constituída da síntese e análise de fontes primárias e secundárias; a segunda etapa, de análise de conteúdo em livros; e então, a construção do produto educacional, o livro digital. Por fim, os resultados e discussões, com a síntese e análise das fontes primárias e secundárias sobre o RNA; o nascer do “Mundo de RNA”; a Análise de Conteúdo dos livros; e o livro digital: “Os membros ocultos do Clube da Gravata: o Mundo de RNA”.

2 EMBASAMENTOS DO RNA À EPISTEMOLOGIA DE FLECK

2.1 O que é o ácido ribonucleico (RNA)?

Dentro do conteúdo de Biologia Celular e Molecular (BCM), há o ácido ribonucleico, RNA, macromolécula originada a partir da transcrição do ácido desoxirribonucleico — o DNA, de dupla fita — que atua como molde para a construção de uma única fita (figura 1). Embora muito semelhantes, “diferentemente do DNA, a maioria dos RNA desempenha suas funções como fitas simples, que se dobram sobre si mesmas e têm potencial para uma diversidade estrutural muito maior do que o DNA” (Nelson; Cox; Hoskins, 2022, p. 959).

Figura 1 – Esquema do DNA à proteína

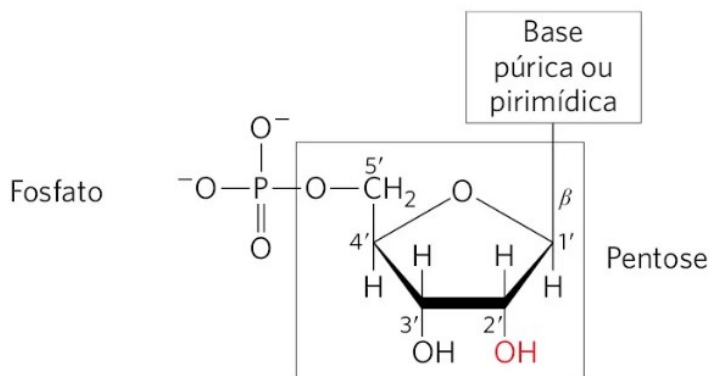


Fonte: Alberts (2017, p. 4)

A cadeia principal do RNA é composta por nucleotídeos que possuem: uma base nitrogenada — Adenosina (A), Citosina (C), Guanina (G) e a Uracila (U), diferente do desoxirribonucleico que apresenta a Timina (T), derivadas da pirimidina e da purina

— um grupo fosfato e uma pentose, o açúcar ribose, diferindo do DNA, que apresenta uma desoxirribose. Segundo Alberts (2017, p. 4): “durante a transcrição, os monômeros de RNA são alinhados e selecionados para a polimerização a partir de uma fita-molde de DNA, assim como os monômeros de DNA são selecionados durante a replicação”, assim, a molécula resultante irá representar, precisamente, a informação genética da célula que estava presente na molécula inicial. Na figura 2 há a estrutura geral de um ribonucleotídeo, o nucleotídeo do RNA. O grupo — OH (hidroxila) no carbono 2', em cor vermelha, é substituído por — H (hidrogênio) nos desoxirribonucleotídeos (Nelson; Cox; Hoskins, 2022).

Figura 2 – Estrutura dos ribonucleotídeos



Fonte: Nelson, Cox, Hoskins (2022, p. 264)

De acordo com Nelson, Cox, Hoskins (2022), com exceção dos genomas de RNA de alguns vírus, todas as macromoléculas de ácido ribonucleico serão derivadas das informações que estão armazenadas na macromolécula de ácido desoxirribonucleico. No processo de transcrição, são produzidos quatro tipos de RNA:

Os **RNA mensageiros (mRNA)** codificam a sequência de aminoácidos de um ou mais polipeptídeos especificados por um gene ou conjunto de genes. Os **RNA transportadores (tRNA)** leem a informação codificada no mRNA e transferem o aminoácido adequado para uma cadeia polipeptídica em crescimento durante a síntese proteica. Os **RNA ribossômicos (rRNA)** são componentes dos ribossomos, as máquinas celulares intrincadas que sintetizam proteínas. Os **RNA não codificadores (ncRNA)** têm uma variedade de funções catalíticas, estruturais e regulatórias (Nelson; Cox; Hoskins, 2022, p. 960, grifos dos autores).

A relação do RNA com a origem da vida no planeta Terra foi uma longa caminhada de análise quanto às características funcionais da macromolécula, visto que é a única que possui um papel de armazenamento e de catálise, além de que “a descoberta de RNA catalisadores, ou ribozimas, alterou a própria definição de enzima,

estendendo-a para além do domínio das proteínas” (Nelson; Cox; Hoskins, 2022, p. 960).

Desta forma, o Mundo de RNA, do inglês *RNA world*, parte da hipótese de que moléculas de RNA autorreplicantes teriam, em um momento da evolução da vida no planeta Terra, se proliferado anteriormente às moléculas de DNA e de proteínas.

2.2 O ensino da Biologia Celular e Molecular (BCM) e o livro didático

Na parte do aprendizado, Santos (2020), discerne que os conceitos são extremamente fragmentados, ao ponto que os estudantes não realizam a conexão do assunto com as particularidades do seu cotidiano, e com o funcionamento do organismo como um todo. O mesmo é atribuído por Silva Sá *et al.* (2021), que indagam sobre como a familiaridade com a terminologia pode ser comprometida pela falta de assimilação.

No que condiz ao professor, Schallenberger e Soares (2020) e Silva Sá *et al.* (2021) afirmam que esse alto teor abstrato compromete o docente, que pode sentir insegurança ao ministrar aulas relacionadas à BCM. Ao que remete ao material pedagógico ou didático disponível para esses professores, Santos (2021) descreve que o livro didático, embora de extrema importância no ambiente escolar, ainda apresenta o conteúdo de BCM de forma simplificada, o que irá ser reproduzido à aula.

O docente, por falta de autoconfiança, de preparo, ou por comodismo, restringe-se a apresentar aos alunos, com o mínimo de modificações, o material previamente elaborado por autores que são aceitos como autoridades. Apoiado em material planejado por outros e produzido industrialmente, o professor abre mão de sua autonomia e liberdade, tornando-se simplesmente um técnico (Krasilchik, 2004, p. 184).

Todavia, como este material pode ser a única ferramenta significativa disponível, seu potencial não deve ser menosprezado. Deve-se utilizar da análise crítica de seus componentes, para garantir o melhor uso. Nesse sentido, Tonolli, Franco e Silva (2021, p. 741) discorrem que há uma possibilidade de que o “[...] aumento do contingente de professores críticos ao conteúdo dos livros didáticos permita que muito dos equívocos conceituais, inadequações históricas e fragmentações indiscriminadas dos conteúdos sejam corrigidos”. No que se relaciona ao conteúdo de Biologia Molecular, Pereira, Mesquita e Barros (2023, p. 286) afirmam, após análise de livros didáticos do Ensino Médio, que:

No mundo atual, é de fundamental importância que a biologia molecular apresente-se em livros didáticos, assumindo o papel de instruir devidamente a população. Os conteúdos da Biologia Molecular merecem um maior destaque, tendo em vista que os conhecimentos científicos gradativamente evoluem nos diferentes cenários sociais em virtude das novas realidades.

Ponderando sobre essa relação do ensino de BCM e o livro didático, a Epistemologia de Fleck foi consultada e utilizada no desenvolver deste trabalho, visando elencar o potencial do material pedagógico; além de tomar dessa como base para fomentar a construção de um material educacional complementar.

2.3 Breve histórico sobre Ludwik Fleck

Ludwik Fleck (1896 - 1961) (figura 3) foi um professor, biólogo e médico nascido em Lwów, Polônia, onde atualmente localiza-se a cidade de Lviv, também conhecida como Leópolis, na Ucrânia. Fleck foi membro da Academia Polonesa de Ciências, e atuou em diversas universidades e laboratórios bacteriológicos em hospitais poloneses (Condé, 2012).

Figura 3 – Ludwik Fleck (1896 - 1961)



Fonte: Archiv für Zeitgeschichte (Thomas Schnelle) (s.d.)
CC BY-NC-SA 4.0

Foi assistente do médico polonês Rudolf Stefan Jan Weigl (1883 – 1957), especialista em tifo — que mais tarde ficaria conhecido pelo desenvolvimento da vacina contra o tifo epidêmico — durante os anos de 1914 a 1920. Trabalhou no hospital geral da cidade de Lwów, local onde conheceu a reação de Wasserman (Condé, 2012), que seria um ponto importante para sua obra mais conhecida.

Com o início da Segunda Guerra Mundial, a cidade de Lwów tornou-se parte do poder soviético (Schäfer; Schnelle, 2010). Fleck, filho de judeus-poloneses, foi obrigado a deixar seus cargos e direcionado aos campos de concentração, chegando juntos com um grupo de cientistas e suas famílias em Auschwitz em 7 de fevereiro de 1943 (Grzybowski; Ciesielska, 2016), sendo esse o “período em que foi designado para trabalhar na produção de vacina contra o tifo” (Massoni; Moreira, 2015, p. 237).

Por ocasião da epidemia de tifo no gueto, para qual não havia vacina disponível, ele desenvolveu um novo procedimento mediante o qual conseguia extrair a vacina da urina dos infectados (após a guerra publicou a respeito desses procedimentos). Quando tais trabalhos se tornaram conhecidos entre os alemães, a SS logo deu a entender que Fleck deveria ser considerado como um dos mais importantes especialistas em tifo da Europa (Schäfer; Schnelle, 2010, p. 5-6).

Embora tivesse “privilégios” no campo de concentração, participou de diversas atividades de sabotagem, ministradas por grupos de resistência. Guardou segredo quando descobriu que a vacina contra o tifo, produzida para a *Wehrmach* — força armada unificada da Alemanha Nazista — não era eficaz. Todavia, iniciou, secretamente, a produção de algumas vacinas — dessa vez, eficazes — para uso próprio, de prisioneiros e para os controles de verificação cruzada (Grzybowski; Ciesielska, 2016).

Após liberação dos campos de concentração, Fleck tentou recuperar a saúde e iniciou novas pesquisas acerca do comportamento dos leucócitos. Tornou-se diretor do Departamento de Microbiologia Médica na Universidade Marie Curie-Sklodowska em 1945, onde atuou também como professor (Grzybowski, 2012).

Em 1956, após um infarto, detectou a presença de linfossarcoma — tumor que acomete os linfonodos¹. No ano seguinte, se muda junto a sua esposa, Ernestina Waldman, para Israel, onde assumiu um cargo no *Israel Institute for Biological Research*. Fleck deu continuidade a seus trabalhos e foi nomeado professor visitante

¹ Também conhecidos como gânglios linfáticos, são estruturas que atuam como “filtros” para substâncias consideradas nocivas.

de Microbiologia na Faculdade de Medicina da *Hebrew University*², em Jerusalém (Schäfer; Schnelle, 2010). Contudo, “as dificuldades com a língua hebraica e seu estado cada vez pior impuseram estreitos limites a suas possibilidades de atuação” (Schäfer; Schnelle, 2010, p. 9); Fleck teve outro infarto em 1961, que o levou a sua morte.

Fleck foi considerado como uma figura clássica na sociologia da Ciência no início de sua trajetória; sendo somente nos últimos anos que passou a ser visto como filósofo (Cohen; Schnelle, 1986). A Epistemologia de Fleck teve suas raízes fundamentadas em sua prática científica e médica, e não em sua formação filosófica. Tentou investigar a Ciência, e a construção de seus Fatos Científicos, por seus processos históricos e as instituições sociais (Löwy, 1988).

2.3.1 Epistemologia de Fleck

De acordo com Löwy (1994), a construção da Epistemologia de Fleck deu-se em três etapas, sendo a primeira em seu artigo “*O niektorych swoistych cechach myślenia lekarskiego*”³, de 1927, em que descreve que doenças partem de uma complexidade construída por médicos “por exemplo, não é possível descrever uma doença infecciosa em termos de uma causalidade simples, já que se trata de complicada interação entre dois sistemas complexos, hospedeiro e o parasita” (Löwy, 1994, p. 8), o que tornaria os pontos de vista a essa atribuídos, incomensuráveis:

O conhecimento médico, cujo escopo é tão extenso quanto sua história, levou ao desenvolvimento de um estilo específico de abordagem de suas questões, uma maneira específica de se relacionar com os fenômenos médicos, ou seja, um tipo específico de pensamento. [...] O próprio objeto do conhecimento médico é fundamentalmente diferente do objeto do conhecimento natural. Enquanto o naturalista procura fenômenos típicos, normais, o médico estuda precisamente aqueles fenômenos atípicos, anormais, patológicos (Fleck, 1927, p. 55, tradução nossa)⁴.

A segunda etapa, citada por Löwy (1994), seria a obra “*Zur Krise der „Wirklichkeit*”⁵ de 1929, em que Fleck coloca as bactérias como componentes que,

² Universidade Hebraica de Jerusalém, considerada uma das melhores do país.

³ No português: “Sobre algumas características específicas do pensamento médico”.

⁴ No original: “*Wiedza lekarska, której zakres równie jest rozległy, jak stare są jej dzieje, doprowadziła do powstania swoistego stylu w ujmowaniu swych zagadnień, swoistego sposobu odnoszenia się do zjawisk lekarskich, tj. do swoistego typu myślowego. [...] Sam przedmiot poznania lekarskiego różni się w zasadzie od przedmiotu poznania przyrodniczego. Podczas kiedy przyrodnik szuka zjawisk typowych, normalnych, lekarz studjuje właśnie te nietypowe, nienormalne, chorobliwe zjawiska*” (Fleck, 1927, p. 55).

⁵ No português: Sobre a crise da “realidade”.

juntamente, seriam construídos pelos pesquisadores, mencionando a questão das classificações das bactérias:

Fleck provavelmente enfrentou tal problema em seu trabalho (realizado imediatamente após seus estudos universitários) com Rudolf Weigl, especialista em tifo. Weigl, na verdade, propôs uma classificação bastante controversa do agente etiológico do tifo, a *Rickettsia provazekii*. Ele afirmou que a *Rickettsia* é uma forma modificada de uma bactéria intestinal, o *Bacillus proteus*. As incertezas classificatórias das *Rickettsia* teriam chamado a atenção de Fleck para o caráter convencional das classificações dos microrganismos (Löwy, 1994, p. 9).

Nessa obra, Fleck (1929, p. 426, tradução nossa) indica que “cada conhecimento tem seu próprio estilo de pensamento, com sua tradição e educação específicas. Em uma riqueza quase infinita de possibilidades”⁶, pontuando que os membros dessas diferentes comunidades de conhecimento possuem uma realidade para esses estilos de pensamentos.

Retomando à obra mencionada anteriormente, “Gênese e desenvolvimento de um fato científico” (Fleck, 2010) foi publicada inicialmente em 1935, em alemão, com a tradução literal ao português: “Origem e desenvolvimento de um fato científico: Introdução à teoria do estilo de pensamento e do pensamento coletivo”⁷. Sendo essa a terceira etapa. Fleck teria sido “redescoberto” pelo filósofo e físico Thomas Samuel Kuhn (1922 – 1996), que de acordo com Löwy (1994), teria citado como Fleck o influenciou.

Cohen e Schnelle (1986) pontuam que a linguagem de Fleck era “incomum”, que variava entre o alemão — atribuído como um dialeto austro-alemão culto, sendo seguido pelo polonês. Tal relação era um desafio para os tradutores, especialmente pelo uso de expressões específicas de cada língua adotada por Fleck.

A versão inglesa, “*The Genesis and Development of a Scientific Fact*” foi publicada em 1979, pelo estímulo do sociólogo estadunidense Robert King Merton (1910 – 2003) que “encontrou na obra de Fleck ecos de seu próprio interesse na influência da estrutura social das comunidades científicas sobre a produção dos conhecimentos científicos” (Löwy, 1994, p. 8). Aqui, Ludwik consolidou o que ficaria conhecida como a Epistemologia de Fleck.

⁶ No original: “Jedes Wissen hat einen eigenen Gedankenstil mit seiner spezifischen Tradition und Erziehung. In beinahe unendlichem Reichtum des Möglichen” (Fleck, 1929, p. 426).

⁷ No original: “Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv”.

De acordo com Fleck (2010, p. 37), o significado de **Fato** é comumente visto como algo “permanente e independente da opinião subjetiva do pesquisador, ao caráter passageiro das teorias”. Nesse meio, comete-se o erro de atribuir ao conhecimento apenas aqueles Fatos que envolvem a física clássica, ou que beiram considerações atribuídas como cotidianas, vide exemplo proposto por Fleck, do ser humano ter, normalmente, dois olhos. Por isso, indicou “que um “fato mais novo” cuja descoberta não seja muito remota e que ainda não esteja explorada em todos os aspectos para fins epistemológicos, corresponda melhor aos fundamentos de uma investigação imparcial” (Fleck, 2010, p. 38).

Na obra, Fleck questiona como desenvolveu-se o Fato Científico atrelado ao conceito atual da sífilis — infecção sexualmente transmissível (IST) — e a relação com a reação sorológica de Wassermann. Fleck (2010) inicia pontuando historicamente o Fato dentre as ocorrências e percorre as influências, tanto políticas quanto sociais, que alavancaram a pesquisa quanto às causas da doença:

Estamos em condições de rastrear as fontes históricas das ideias sobre a sífilis (*Syphidologie*) sem lacunas até o final do século XV. Elas contêm descrições de uma doença específica mais ou menos diferenciada (de uma chamada *entidade nosológica*, como costumamos dizer hoje), que corresponde historicamente ao nosso conceito de sífilis, se bem que a delimitação e a designação da entidade nosológica tenham mudado consideravelmente. A sintomatologia da doença também passou por algumas mudanças. Por volta do final do século XV, a linha evolutiva do saber sobre a sífilis, para a nossa retrospectiva, desaparece num emaranhado não diferenciado de conhecimentos da época sobre doenças mais ou menos epidêmicas e crônicas com sintomas dermatológicos e frequente localização nos órgãos genitais (Fleck, 2010, p. 39).

Para Fleck, o conhecimento que fomenta o Fato Científico só pode ser construído através de um processo coletivo, que através de uma troca de ideias e interações, desenvolverão o **Estilo de Pensamento**. O grupo desse processo, denominado como **Coletivo de Pensamento**, é atribuído por Fleck (2010, p. 82) como:

[...] comunidade das pessoas que trocam pensamentos ou se encontram numa situação de influência recíproca de pensamentos, temos, em cada uma dessas pessoas um portador do desenvolvimento histórico de uma área de pensamento, de um determinado estado do saber e da cultura, ou seja, de um estilo específico de pensamento.

Dessa maneira, o Fato Científico possui, como instrumentos conceituais, o Coletivo de Pensamento e o Estilo de Pensamento. “O primeiro designa a unidade

social da comunidade de cientistas de uma disciplina; o segundo, os pressupostos de pensamento sobre os quais o coletivo constrói seu edifício de saber” (Fleck, 2010, p. 16).

O trabalho com o Fato Científico, na sua construção de conhecimento, compreende-se de duas etapas: **Acoplamento Passivo** e o **Ativo**, “[...] a primeira, passiva e objetiva, chamada de conexão passiva ou acoplamento passivo. A segunda representa o caráter ativo do conhecimento, com princípios subjetivos, definido como conexão ativa, ou acoplamento ativo” (Souza, 2020, p. 23). Para Fleck (2010), o Acoplamento Ativo seria a reação sorológica de Wassermann, enquanto a compreensão da sífilis seria o Acoplamento Passivo.

Fleck (2010) descreve que os fatores externos irão interferir na construção do Fato Científico. Considerando a Epistemologia de Fleck, a Ciência é uma atividade organizada que envolve comunidades de pesquisadores (**Esotérico**) e não pesquisadores (**Exotérico**) de uma área, os quais realizam um trâmite de pensamentos que corroboram na produção dos Fatos Científicos (Fioresi; Silva, 2022). Ocorre uma **Circulação Intracoletiva** entre esses círculos (esotérico e exotérico) pode resultar numa transformação de valores do pensamento: “[...] quanto maior é a diferença entre os estilos de pensamento, menor é a circulação intercoletiva de idéias, pois os princípios de um coletivo estranho são tidos como arbitrários, e sua legitimação é sempre questionada, tendo-se a impressão de que suas explicações são vazias, triviais, ou sem sentido” (Parreiras, 2006, p. 74). Pode, em contrapartida ou simultaneamente, ocorrer a **Circulação Intercoletiva** de pensamentos, na qual envolve dois ou mais Coletivos de Pensamento: “Em caso de serem coletivos menos divergentes, pode ocorrer uma comunicação intercoletiva, mas as palavras são traduzidas em outra linguagem de pensamento, o que produz uma certa variação de seu significado” (Parreiras, 2006, p. 74).

Na construção desses Fatos Científicos, Fleck discerne que tudo irá depender do “percurso histórico e da cosmovisão de determinado grupo em seu contexto científico e histórico” (Souza, 2020, p. 21). Ao Fato analisado na obra, ressalta: “o conceito de sífilis deve ser investigado como o resultado do desenvolvimento e da coincidência de algumas linhas coletivas de pensamento, da mesma maneira que se investiga um acontecimento da história do pensamento” (Fleck, 2010, p. 64).

Destarte, em Fleck, segundo Condé (2018, p. 155), “podemos encontrar uma história da ciência que se inspira na biologia e na medicina, apresentando uma

fundamentação epistemológica mais robusta que, conseqüentemente, permite uma melhor elaboração da escrita da história da ciência.” A construção do Fato Científico, constitui-se então, de uma união da história e dos elementos que a compunham. Através da Epistemologia de Fleck é possível analisar e avaliar esses componentes, de modo a embasar o desenvolvimento de um novo material.

Fleck afirma que a integração dos fatores que não estão vinculados ao pensamento individual de um pesquisador é necessária para o desenvolvimento de um Fato Científico, que “é como uma regra desenvolvida por um pensamento coletivo, isto é, um grupo de pessoas ligadas por um estilo de pensamento comum” (Löwy, 2002, p. 237), considerando o coletivo:

Fleck explica que a comunicação entre coletivos de pensamento passa pela circulação dos ‘fatos’ e dos conceitos. Os fatos produzidos por um dado coletivo de pensamento são assimilados por outros coletivos de pensamento e traduzidos em seu estilo de pensamento. Trata-se, no entanto, de uma “tradução imperfeita” (Löwy, 1994, p. 11).

Segundo Fleck, o conceito social que constitui um saber, não irá excluir o condicionamento histórico e, portanto, passam a formar um todo conceituado por Fleck como um Coletivo de Pensamento. Não é possível estabelecer uma divisão precisa de cada contribuição, justamente porque o conjunto destas formulou o conhecimento “final” (Massoni; Moreira, 2015).

A biologia me ensinou a examinar uma área submetida à evolução sempre em sua história evolutiva. Quem, hoje em dia, é capaz de fazer anatomia sem embriologia? Da mesma maneira, qualquer teoria do conhecimento sem estudos históricos ou comparados permaneceria um jogo de palavras vazio, uma epistemologia imaginária (*Epistemologia imaginabilis*) (Fleck, 2010, p. 62).

Considerando esses pensamentos, há aqueles que fundamentariam o Fato Científico. Fleck (2010, p. 64) indica que “muitos fatos científicos e altamente confiáveis se associam, por meio de ligações evolutivas incontestáveis, as **Protoideais** (pré-ideias) pré-científicas afins, mais ou menos vagas, sem que essas ligações pudessem ser legitimadas pelos conteúdos”. Essas Protoideias, embora considerando o pensamento científico atual, sejam incorretas ou inadequadas, para os responsáveis por seu desenvolvimento, essas representavam os conceitos corretos e as soluções para as demais perguntas de sua época.

Através da **Harmonia da Ilusão**, as concepções passadas são conservadas pelas épocas de cada cientista pesquisador (Fleck, 2010). A “harmonia” é complexa e

será expressa através da persistência ou resistência de um determinado sistema de opiniões. Desta forma, o modo como tais ideias são preservadas ocorrem por meio da “persistência dos pontos de vista”, que apresenta cinco graus (Milli; Gehlen; Marques, 2023), que de acordo com Fleck (2010, p. 69), são:

1. Uma contradição ao sistema parece ser impensável.
2. Aquilo que não cabe no sistema permanece despercebido, ou
3. é silenciado, mesmo sendo conhecido, ou,
4. mediante um grande esforço, é declarado como não contradizendo o sistema.
5. Percebem-se, descrevem-se e até se representam determinados estados das coisas que correspondem aos pontos de vista em vigor, que, por assim dizer, são sua realização — apesar de todos os direitos dos pontos de vista contrários.

Considerando que as concepções podem ser fechadas e “sólidas”, suas estruturas podem ser firmes contra demais contradições que surgirem: “[...] o estilo de pensamento também não é algo fixo, estando susceptível a transformações temporais, as quais ocorrem quando a harmonia das ilusões do sistema de opiniões/idéias é abalada” (Parreiras, 2006, p. 49 e 50).

Pela coletividade, o desenvolvimento de pensamentos pode passar por constantes **Mutações no Estilo de Pensamento**, para qual Fleck (2010, p. 68) menciona “a transformação da física e do seu estilo de pensamento em virtude da teoria da relatividade ou da bacteriologia em virtude da teoria da variabilidade e da teoria da ciclogenia assemelham-se a essas mutações”. Essas mutações que ocorrem não são consideradas por Fleck como “rupturas completas”, visto que a mudança não se equivale à permanência. Um conhecimento “nasce”, passa por sua fase de desenvolvimento e então, ocorre uma mutação que possibilitará um novo conhecimento (Condé, 2018).

3 PROCESSOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa possui caráter qualitativo, exploratório, de natureza bibliográfica e documental. A pesquisa qualitativa, para Lozada e Nunes (2019, p.133), “é uma categoria de investigação voltado para as características qualitativas do fenômeno estudado, considerando a parte subjetiva do problema”. A quantitativa, por sua vez, analisa a partir de dados exatos, “daí a característica original do método científico ser sua configuração experimental-matemática” (Severino, 2013, p. 103).

Nas pesquisas exploratórias, Gil (2002, p. 41) indica que essas “têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições”, realizando o levantamento de informações acerca de um objetivo específico, “mapeando as condições de manifestação desse objeto” (Severino, 2013, p. 107).

Tomando como base um material pré-existente, como livros, artigos e testes, necessários para a compreensão de dados, Severino (2013, p. 106) afirma que na pesquisa bibliográfica “os textos tornam-se fontes dos temas a serem pesquisados. O pesquisador trabalha a partir das contribuições dos autores dos estudos analíticos constantes dos textos”.

Por essa definição, é considerado que as duas vertentes, bibliográfica e documental, podem ser confundidas. Todavia, embora ocorra demasiadas semelhanças, de acordo com Gil (2002), a natureza das fontes é o que difere: as pesquisas documentais utilizam materiais que não receberam um tratamento analítico prévio, enquanto as bibliográficas baseiam-se em contribuições de diversos autores em um assunto específico.

Visando os objetivos específicos da presente pesquisa, os procedimentos metodológicos foram divididos em três etapas: na primeira etapa, síntese e análise de fontes primárias e secundárias, foi (re)construído a história do RNA ao Mundo de RNA considerando a perspectiva da Epistemologia de Fleck. Na segunda etapa, análise de conteúdo em livros, foi avaliado a presença conteúdo de RNA presente no Mundo de RNA pela abordagem histórica-epistemológica, considerando a presença de elementos históricos. A terceira etapa foi relativa à construção do livro digital.

3.1 Primeira etapa: síntese e análise de fontes primárias e secundárias

Essa primeira etapa consiste em uma síntese das fontes primárias e secundárias: documentos científicos, manuscritos, artigos associados à criação e

desenvolvimento da hipótese do Mundo de RNA, que em análise, foram embasados pelos conceitos da Epistemologia de Ludwik Fleck. Para o levantamento das fontes utilizadas, considerou-se os pontos discernidos por Martins (2005, p. 310) para a construção de uma pesquisa em História da Ciência: “quanto mais pudermos nos aproximar dos “originais” de um autor, mais fiéis poderemos ser em relação a seu trabalho”; para qual atribuí não apenas as fontes textuais, mas as fotografias, desenhos e gravações.

De mesma maneira, considerou-se as pontuações de Kragh (2003, p. 67) sobre a utilização de termos de afirmação: “uma obra histórica poderá ser considerada inadequada, parcial ou interessante, mas raramente verdadeira ou falsa”, na qual, evita-se o uso de palavras como “verdade”. No que constitui a (re)construção da síntese histórica, relaciona-se parte significativa da História da Ciência e descritiva, na qual estabelece que há ocorrências não triviais. Assim, a (re)construção pode partir de elementos que realcem os motivos e razões por trás da história (Kragh, 2003). Para os conceitos da Epistemologia de Fleck, foram considerados a definição organizacional produzida por Souza (2020), conforme descritos no quadro 1.

Quadro 1 – Conceitos da Epistemologia de Ludwik Fleck

Conceitos	Definição- O que entendo em cada conceito
Fato Científico	Relação de conceitos, conforme o Estilo de Pensamento, relacionado com as partes ativas e passivas do saber.
Protoideia	Ideia vaga, mais ou menos científica, que circula entre os Coletivos e Estilos de Pensamentos e em algum momento é retomado no saber científico.
Coletivo de Pensamento	Conjunto de pessoas que compartilham o mesmo modo de pensar, trocam pensamentos e possuem influência recíproca de pensamentos. Dentro da mesma comunidade científica, os pesquisadores compartilham um estado do saber e, portanto, um estilo específico de pensamento.
Estilo de Pensamento	Percepção direcionada, forma particular de perceber o objeto a ser conhecido.
Círculo Esotérico	Círculo de especialistas de determinada área, no qual possuem mesma linguagem, mesmo modo de se entender. Circula neste, o saber especializado.
Círculo Exotérico	Círculo de pessoas leigas; leigas informadas e especialistas de outras áreas. Circula neste, o saber popular.

Tráfego Intracoletivo de Ideias	Comunicação ou circulação de pensamentos que ocorre no interior de um coletivo de pensamento, do Círculo Esotérico para o Exotérico, assegurando a extensão do estilo de pensamento, pressupõem-se o fortalecimento de ideias e formação de novos membros do grupo.
Tráfego Intercoletivo de Ideias	Circulação de pensamentos que ocorre entre dois ou mais coletivos de pensamento, contribuindo com a transformação do Estilo de Pensamento. Pressupõem-se mudança fundamental (a mudança envolvida pode ser pequena ou de forma completa).
Acoplamento Ativo	Conhecimento subjetivo, construído e organizado pela humanidade. Remete a uma construção do conhecimento científico.
Acoplamento Passivo	Conhecimento objetivo, surge passivamente com o agente organizador do Fato Científico.
Harmonia das Ilusões	Tradição científica enraizada no Estilo de Pensar que impede o pesquisador perceber um novo Estilo de Pensamento ou a emergência de um Fato Científico.
Mutações de Estilo de Pensamento	Mudança no Estilo de Pensamento que ocorre de modo lento e gradativo, como no processo de evolução.

Fonte: Souza (2020) baseado em Fleck (2010).

A história científica dos conceitos de RNA será (re)construída até chegar aos primórdios da hipótese do Mundo de RNA, correlacionando os conceitos da Epistemologia de Fleck com cada episódio histórico e seus personagens.

3.2 Segunda etapa: análise de conteúdo em livros

A presença da História da Ciência favorece a estruturação do conhecimento científico, uma vez que “se preocupa em refletir e interpretar os aspectos sociais, históricos e filosóficos no processo de construção da ciência” (Souza; Costa; Sgarbi, 2022, p. 123). Esta deve ser analisada, não apenas pela sua quantidade — no sentido de soma dos aparecimentos desta em um documento — mas sim pela sua qualidade na apresentação de dados. Visto isso, a segunda parte da pesquisa envolve a análise documental de livros didáticos de Biologia do Ensino Médio e de livros acadêmicos do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* Ponta Grossa.

Para essa análise dos dados, foi utilizada a Análise de Conteúdo. De acordo com Moraes (1999, p. 2), consiste em “uma metodologia de pesquisa usada para

descrever e interpretar o conteúdo de toda classe de documentos e textos.” Condiz inicialmente a realização da leitura flutuante, para identificar o objeto de interesse, nesse caso os conteúdos associados ao RNA. Então ocorre a organização dos dados extraídos, através da fase um, a pré-análise. Bardin (2011, p. 124) discerne que realiza-se “a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentam a interpretação final”. Desta forma, a análise compreende de três fases: 1. a pré-análise; 2. a exploração do material e 3. o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

Os documentos selecionados partiram do catálogo de 2021 do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), para os livros didáticos de Biologia do Ensino Médio. Os livros acadêmicos, por sua vez, foram selecionados através dos planos de ensino das disciplinas de “Biologia Celular 1” (ANEXO A) e “Biologia Celular 2” (ANEXO B) do curso de graduação Licenciatura em Ciências Biológicas da UTFPR, *campus* Ponta Grossa. Ambas as disciplinas fazem parte da nova matriz do curso, e possuem a composição conteudista da disciplina “Biologia Celular e Molecular e Noções de Biotecnologia”, referente à antiga matriz (2017 a 2023) (ANEXO C).

Na exploração do material, foi identificado a presença da abordagem histórica pela apresentação de conteúdo relativo às fotos de cientistas e instrumentos da Ciência, assim como a menção às obras originais, como aponta Leite (2002). Para a interpretação dos dados, foram utilizados os conceitos da Epistemologia de Fleck, como consta no quadro 1.

A Análise de Conteúdo permitiu a organização dos textos dos livros didáticos e acadêmicos em grupos específicos categorizados por acontecimento e conteúdo, facilitando a interrelação da abordagem histórica mencionada com os conceitos fleckianos. Esses, que por sua vez, auxiliam na identificação dos ideais necessários para promoção da Ciência Coletiva.

3.2.1 Livros didáticos selecionados para análise

No PNLD 2021 foi estabelecido um novo método de divisão das disciplinas e seus conteúdos, as quais foram segmentadas pelas áreas de conhecimento: Linguagens e suas tecnologias, Ciências da Natureza, Ciências Humanas e Sociais Aplicadas e suas tecnologias e Matemática e suas tecnologias. Assim como o incremento de obras didáticas consideradas específicas: Língua Portuguesa, Língua

Inglesa e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas em diálogo com a Matemática. Pelo ponto de vista normativo:

[...] as obras didáticas seguem um conjunto de princípios éticos e marcos legais para a Educação determinados pelo Edital de convocação Nº 03/2019 – CGPLI, dentre as quais a Constituição Federal de 1988, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDB (Lei 9.394/1996), a Reforma do Ensino Médio (Lei nº 13.415/17), o Plano Nacional de Educação PNE - 2014-2024 (Lei 13.005/2014), o Programa Nacional de Direitos Humanos PNDH-3 (Decreto 7.037/2009), o Estatuto da Criança e do Adolescente (Lei 8.069/1990), as Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais para a Educação Básica (Parecer CNE/CEB nº7/2010 e Resolução CNE/CEB nº 4/2010) e a Resolução que institui e orienta a implementação da Base Nacional Comum Curricular (CNE/CP Nº 02/2017) (Brasil, 2020a, p. 17).

De acordo com o Guia Digital do PNLD 2021, considera-se que as Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT) devem formar o cidadão que saiba se fundamentar cientificamente: “O(A) estudante deve interpretar o mundo, manejando os conceitos científicos, suas leis, suas teorias, sempre na perspectiva de raciocinar cientificamente em uma sociedade cada vez mais desafiadora e tecnológica” (Brasil, 2020b, p. 20).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o Ensino Médio tem uma proposta na qual se valoriza a integração entre as disciplinas que compõem a área de CNT, na qual as disciplinas de Física, Biologia e Química fazem parte de uma única área. Entende-se que os conteúdos científicos não são estáticos ou independente uns dos outros e podem ser trabalhados conjuntamente, de maneira contextual e interdisciplinar, integrando suas semelhanças e discutindo suas diferenças epistemológicas (Brasil, 2020b, p. 20).

Em busca realizada *a priori*, constatou-se que os dos livros didáticos presentes no PNLD 2021 que possuíam o conteúdo relativo ao RNA — e consequentemente, Mundo de RNA — eram aqueles volumes com os temas de origens, evolução dos seres vivos e do universo. No quadro 2 há a relação desses livros, que foram utilizados para a Análise de Conteúdo.

Quadro 2 – Livros didáticos selecionados

Código de identificação	Referência do livro
LD1	LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. Ciências da natureza : Lopes & Rosso. 1. ed. v. 1. São Paulo: Moderna, 2020.
LD2	THOMPSON, Miguel <i>et al.</i> Conexões : ciências da natureza e suas tecnologias. 1. ed. v. 4. São Paulo: Moderna, 2020.
LD3	AMABIS, José Marino <i>et al.</i> Moderna Plus : Ciências da Natureza e suas Tecnologias. 1. ed. v. 6. São Paulo: Moderna, 2020.
LD4	MORTIMER, Eduardo <i>et al.</i> Matéria, Energia e Vida : O Universo, a Terra e a vida. 1 ed. São Paulo: Editora Scipione, 2020.

LD5	SANTOS, Kelly Cristina dos. Diálogo : ciências da natureza e suas tecnologias. 1. ed. v. 6. São Paulo: Moderna, 2020.
LD6	FUKUI, Ana <i>et al.</i> Ser protagonista : ciências da natureza e suas tecnologias: evolução, tempo e espaço: ensino médio. 1. ed. São Paulo: Edições SM, 2020.
LD7	GODOY, Leandro Pereira de; AGNOLO, Rosana Maria Dell; MELO, Wolney Candido de. Multiversos : ciências da natureza: origens: ensino médio. 1. ed. São Paulo: FTD, 2020.

Fonte: Autoria própria (2025).

À esquerda do quadro 2 há o código de identificação e à direita a referência da respectiva obra. Observa-se que o volume referente ao conteúdo varia de acordo com a coleção, visto que embora o conteúdo apresentado nos livros seja majoritariamente pré-definido, não há uma ordem estabelecida para ser seguida.

3.2.2 Livros acadêmicos selecionados para análise

Como dito anteriormente, para a seleção dos livros acadêmicos, foram consideradas as obras de Biologia Celular e Molecular, presentes na bibliografia básica e complementar do plano de ensino das disciplinas de “Biologia Celular 1” (ANEXO A) e “Biologia Celular 2” (ANEXO B). Os livros estão listados no quadro 3.

Quadro 3 – Livros acadêmicos selecionados

Código de identificação	Referência do livro
LA1	NELSON, David L.; COX, Michael M.; HOSKINS, Aaron A. Princípios de bioquímica de Lehninger . v.1. 8. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2022.
LA2	ALBERTS, Bruce. Biologia molecular da célula . 6. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017.
LA3	JUNQUEIRA, Luiz Carlos Uchôa; CARNEIRO, José. Biologia Celular e Molecular . 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2023.
LA4	ZAHA, Arnaldo; FERREIRA, Henrique B.; PASSAGLIA, Luciane M. P. Biologia molecular básica . 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2014.
LA5	GIRARDI, Carolina Saibro; SUBTIL, Fernanda Teixeira; RANGEL, Juliana Oliveira. Biologia molecular . Porto Alegre: SAGAH, 2018.
LA6	ROBERTIS, Edward M De; HIB, José. De Robertis Biologia Celular e Molecular . 16. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
LA7	ALBERTS, Bruce <i>et al.</i> Fundamentos da biologia celular . 4. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017.

Fonte: Autoria própria (2025).

Novamente, à esquerda (do quadro 3) está o código de identificação e à direita a referência do livro. Ressalta-se que a antiga matriz, referente à disciplina de “Biologia Celular e Molecular e Noções de Biotecnologia”, tinha como bibliografia básica e complementar a mesma relação de livros presentes nas novas disciplinas.

3.3 Construção do produto educacional: livro digital

Como produto educacional, foi produzido um livro digital sobre o Mundo de RNA, voltado para o uso docente, que abordou sobre a hipótese e as informações relativa à macromolécula. O material foi construído a partir do referencial histórico desenvolvido na etapa um, fomentando com as necessidades educacionais e relações com o conteúdo de Biologia dos livros didáticos apresentado na etapa dois, utilizando a plataforma de *design* gráfico *Canva*⁸.

O material não pretende ser uma substituição do livro didático ou do plano de aula do docente, mas sim, uma complementação. Visa-se a otimização do conteúdo, incrementação e facilitar a inserção da História Epistemológica da Ciência. O livro digital pode ser encontrado disponível no RIUT⁹ (Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná), com livre acesso.

3.3.1 Elementos de abordagem da História da Ciência no livro digital

Na construção do livro digital, para a elaboração textual e visual, foram associadas as relações atribuídas à comunidade científica, conforme descritos na etapa um, de análise das fontes primárias e secundárias. Dentre essas, as contextualizações históricas, culturais e sociais foram inseridas de forma a situar o leitor. Vide exemplo, seu país de origem e situação político-econômica, que interfeririam diretamente em suas produções científicas, acadêmicas e nos vínculos com demais profissionais, como mencionado por Leite (2002).

Considerando esses tópicos, para incorporar as abordagens de História da Ciência no livro digital, foram utilizadas as sessões propostas (quadro 4) pela autora na monografia “Abordagem histórico-filosófica da Biologia Celular e Molecular: a discrepância presente nos livros didáticos” (Mazzutti, 2023), em que foi elaborado um material semelhante, referente ao DNA, intitulado “Fotos, teorias e um liquidificador: a novela do DNA”.

Quadro 4 – Elementos de abordagem da História da Ciência no livro digital

Título da sessão	Descrição
O que disse o cientista?	Será apresentado uma citação do material original do cientista, traduzido para a língua portuguesa, a fim de demonstrar quais as hipóteses/teorias que o autor tinha ao realizar sua pesquisa/experimento, e até mesmo, estabelecer uma relação com demais pesquisadores da área.

⁸ Disponível em: <https://www.canva.com>.

⁹ Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/>.

Foi professor	Essa sessão apresentará uma curta história sobre onde o cientista lecionou, quais disciplinas ministrava e o relatos de seus alunos. Quando possível, realizar a inserção de fotografias das universidades e escolas em que atuaram.
Como era o cientista?	Promover a ligação com o cientista, demonstrando informações sobre sua personalidade, passatempos e até mesmo como pessoas da comunidade o viam dentro e fora do âmbito científico e laboratorial.
<i>PRINT</i> do cientista	Nessa sessão haverá uma imagem retirada da publicação original dos cientistas, demonstrando desenhos, propostas de conformações químicas, dentre outras. Ou, será apresentado fotografias dos cientistas mencionados.
Sessão pipoca	Sessão com vídeos que ilustram acontecimentos históricos do período presente no capítulo em que se encontra; aulas explicativas sobre os experimentos realizados pelos cientistas; contextualização de métodos utilizados; assim como filmagens dos cientistas.
O que acontecia no mundo?	Tópico em que serão relacionados contextos culturais, políticos e econômicos que aconteciam em demais países no mesmo período do capítulo em que está presente. São atribuídos uma coleção de cinco ou mais anos.
E o que acontecia no Brasil?	Tópico em que o período dos acontecimentos científicos é comparado aos eventos que ocorriam no Brasil. Assim como o anterior, relacionou-se contextos culturais, políticos e econômicos. Priorizou-se juntamente a associação de decretos e leis dos respectivos momentos históricos.
Entrevista com cientista	Transcrição de entrevistas com os cientistas/pessoas associadas ou apresentação textual traduzida destas, visando o conhecimento da maneira de agir e falar ou ilustrando algum acontecimento citado no texto principal do livro digital.
Virou notícia	Acesso às notícias e reportagens que abordam sobre os cientistas, através de consultas às hemerotecas. Associa-se o jornal publicado, o ano, seguido por um pequeno texto introdutório.
Reconhecimento Nobel ou Esnobado pelo Nobel	Os cientistas que foram premiados por questões envolvendo o conteúdo abordado, aparecerão neste tópico de “Reconhecimento Nobel”, indicando qual categoria da premiação, o ano e a citação da atribuição dada. Pensando nos cientistas que não receberam o prêmio Nobel, o “Esnobado pelo Nobel” apresentará um pequeno trecho de citação que contém informações do possível motivo pelo qual o cientista foi negado.

Fonte: Autoria própria com base em Mazzutti (2023).

Essas sessões estão incluídas no material relativo sobre o Mundo de RNA e o conteúdo específico de RNA, de modo a corroborar com a abordagem da história científica dos personagens atrelados ao ácido ribonucleico. As sessões foram associadas com os conceitos epistemológicos de Fleck, atribuindo a abordagem histórica-epistemológica do conteúdo descrito. Vide exemplo, “O que disse o cientista?” e “*PRINT* do cientista” instituí tópicos hábeis para discussão de uma Protoideia ou Estilo de Pensamento; que mais tarde poderia tornar-se um conceito relacionado à Harmonia das Ilusões que eventualmente passaria por uma Mutação de Estilo de Pensamento. De mesma forma, “Entrevista com cientista” demonstra um Tráfego Intercoletivo de ideias, que abrange o Círculo Esotérico ao Círculo Exotérico.

3.3.2 Instrumentos para a validação inicial do produto educacional

Para o produto educacional desenvolvido na etapa do mestrado profissional, Rizzatti *et al.* (2020, p. 7) discernem que o recomendado seria a aplicação do material, todavia, como instrumento de validação, pode basear-se em “grupos focais, narrativas, pesquisas de opinião, juízes especialistas e outros”. Considerando essa relação, e atribuindo ao acesso de especialistas da área, os autores pontuam a importância de informar o nível de envolvimento dos participantes, de modo a indicar como foi a adesão para o processo de transformação e complementação do produto educacional, descrevendo o tempo para análise e qual o processo teórico-metodológico para tal investigação.

3.3.2.1 Perfil dos participantes e coleta de dados

A coleta sobre o produto educacional foi realizada através da ferramenta *Google Forms*, que gera formulários *online*, acessados através de um *link*. A escolha está relacionada à funcionalidade dinâmica para criação, além da disposição dos resultados obtidos e praticidade aos envolvidos. O questionário foi semiestruturado: com perguntas abertas (dissertativas) e fechadas (de assinalar).

Para a elaboração desse formulário, foi considerado os elementos de orientação utilizados por Rosa e Souza (2023), os quais categorizaram as questões em etapas de: estética e organização do material educativo; capítulos do material educativo; estilo de escrita apresentado; conteúdo apresentado; e criticidade apresentada no material educativo.

Para as questões fechadas, foi utilizada a escala *Likert*. De acordo com Sullivan e Artino Junior (2013), tal escala ordinal — de 4 ou 7 pontos — avalia o grau de concordância ou discordância de uma determinada afirmação. Foi desenvolvida por Rensis Likert, em 1932, numa escala cuja distância entre as respostas não é mensurável. Desta forma, as diferenças entre as respostas “sempre”, “frequentemente” e “às vezes” não são necessariamente iguais.

A população de validadores foi composta por seis indivíduos formados no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas na UTFPR, Ponta Grossa, que estão atuando profissionalmente (considerando o período de avaliação, no ano de 2026) como professores de Ciências e/ou Biologia. O contato foi realizado pela autora.

Desta forma, o formulário foi separado em seções para o conhecimento sobre o perfil dos validadores, como apontado por Rizzatti *et al.* (2020), e demais sobre a avaliação do produto, conforme Rosa e Souza (2023). Sendo a primeira seção: perfil dos validadores (1/2), considerando a trajetória acadêmica: Indique o ano e semestre em que cursou a disciplina "Biologia Celular e Molecular e Noções de Biotecnologia" (Exemplo: 2018/2). Se cursou mais de uma vez, indicar (Exemplo: 2018/2 e 2019/1) (questão descritiva); Durante meu Ensino Médio, tive aulas com o conteúdo referente à Biologia Celular e Molecular (questão em escala *Likert*: Concordo totalmente; Concordo parcialmente; Discordo parcialmente; Discordo totalmente); O conteúdo de Biologia Celular e Molecular é difícil de aprender e ensinar (questão em escala *Likert*: Concordo totalmente; Concordo parcialmente; Discordo parcialmente; Discordo totalmente); Não tenho prazer em aprender o conteúdo de Biologia Celular e Molecular (questão em escala *Likert*: Concordo totalmente; Concordo parcialmente; Discordo parcialmente; Discordo totalmente).

A seção seguinte foi perfil dos validadores (2/2), considerando a trajetória profissional, na qual estavam as seguintes questões: Indique seu tempo de atuação como professor(a) (Exemplo: 2 anos) (questão descritiva); Indique seu local de atuação (alternativas: Rede pública; Rede privada; Rede pública e privada).

Em seguida, iniciou a seção de validação do produto educacional (1/2): Você sabia o que era o "Mundo de RNA" antes da leitura do produto educacional? (alternativas: sim; não); O produto educacional **promove** o diálogo entre o texto verbal e o visual, além de apresentar um texto atrativo e de fácil compreensão (questão em escala *Likert*: Concordo totalmente; Concordo parcialmente; Discordo parcialmente; Discordo totalmente); A **estrutura** do produto educacional está bem-organizada, favorecendo a compreensão para aplicação em sala de aula (questão em escala *Likert*: Concordo totalmente; Concordo parcialmente; Discordo parcialmente; Discordo totalmente); As **figuras/ilustrações** e os *links* disponíveis no produto educacional são relevantes (questão em escala *Likert*: Concordo totalmente; Concordo parcialmente; Discordo parcialmente; Discordo totalmente); O produto educacional apresenta **capítulos** interligados e coerentes (questão em escala *Likert*: Concordo totalmente; Concordo parcialmente; Discordo parcialmente; Discordo totalmente); A História da Ciência me **aproximou** mais do conteúdo de Biologia Celular e Molecular (questão em escala *Likert*: Concordo totalmente; Concordo parcialmente; Discordo parcialmente; Discordo totalmente); A Epistemologia de Fleck auxiliou na

compreensão do coletivo na construção da Ciência (questão em escala *Likert*: Concordo totalmente; Concordo parcialmente; Discordo parcialmente; Discordo totalmente).

Para a segunda parte da validação do produto educacional (2/2): Você acredita que os elementos de inserção da História da Ciência (as sessões: "Virou notícia"; "O que acontecia no mundo?"; "O que acontecia no Brasil?"; "Como era o cientista?"; "*PRINT* do cientista"; "O que disse o cientista?"; "Sessão pipoca"; "Reconhecimento Nobel"; "Entrevista com o cientista"; "Foi professor") auxiliaram na compreensão do episódio histórico? (questão descritiva); Qual das sessões ("Virou notícia"; "O que acontecia no mundo?"; "O que acontecia no Brasil?"; "Como era o cientista?"; "*PRINT* do cientista"; "O que disse o cientista"; "Sessão pipoca"; "Reconhecimento Nobel"; "Entrevista com o cientista"; "Foi professor") você achou mais interessante e por quê? (questão descritiva); Qual capítulo (ou personagem histórico) você achou mais interessante e por quê? (questão descritiva); Você acredita que o produto educacional auxiliará na inserção da História Epistemológica da Ciência sobre o Mundo do RNA em sala de aula? (questão descritiva).

Os validadores tiveram período de um mês, após o contato inicial, para realizarem a leitura do livro digital e responderem às questões do formulário do *Google Forms*. A análise das respostas das questões do formulário foi qualitativa, organizada a partir das perguntas. As indicações dos validadores foram usadas para melhorias no livro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, apresenta-se a etapa um, construída da síntese e análise das fontes primárias e secundárias relativas ao RNA, consideradas uma parte primordial para o desenvolvimento da hipótese do Mundo de RNA. Em seguida, apresenta-se a etapa dois, com a Análise de Conteúdo dos livros didáticos e acadêmicos; para então, a apresentação do produto educacional.

Para a contextualização do período de maior lucidez e otimização dos trabalhos com o RNA, pontua-se aqui que a maioria das pesquisas foram realizadas durante ou pós Segunda Guerra Mundial.

A guerra e suas consequências levaram a uma redistribuição de cientistas pela Europa e pelos Estados Unidos, o que, combinado com a disponibilidade de tecnologias como difração de raios X, eletroforese e microscopia eletrônica, estava estimulando uma riqueza de novas ideias e abordagens em biologia (Morange, 2013, p. 440, tradução nossa)¹⁰.

Ressalta-se ainda, que essa redistribuição não se equipara com a maior qualidade de produção, visto que não foram todos os cientistas que obtiveram oportunidades nesse momento tão infortuno. Além de que, o acesso aos conteúdos científicos era, na maioria das vezes, limitado a um grupo seletivo.

4.1 Síntese e análise das fontes primárias e secundárias sobre o RNA

A presença do RNA como macromolécula foi uma “descoberta” subsequente da busca pela compreensão do ácido desoxirribonucleico, o DNA. Como demonstrado na figura 1, o RNA é originado a partir do processo de transcrição de uma fita de DNA. O DNA, por sua vez, foi inicialmente apontado pelo bioquímico suíço Johann Friedrich Miescher (1844 - 1895), em 1869. Com a expansão das pesquisas associadas à célula (animal e vegetal), as proteínas tornaram-se um dos principais alvos de pesquisas, sendo indicadas como as possíveis responsáveis pelas respostas de todas as questões atribuídas ao funcionamento geral de uma célula. Dahm (2005), em estudos das cartas de Miesher, afirma que mesmo estava realizando processos de purificação do material — que atualmente sabe-se que era o DNA — que estava presente no núcleo da célula, razão pela qual chamou de nucleína.

¹⁰ No original: “The war and its aftermath had led to a redistribution of scientists throughout Europe and the United States, which, combined with the availability of technologies such as X-ray diffraction, electrophoresis and electron microscopy, was spurring a wealth of new ideas and approaches in biology” (Morange, 2013, p. 440).

No livro "*Über die chemische Zusammensetzung der Eiterzellen*"¹¹, Miescher (1871) traz as anotações sobre suas investigações celulares, relatando a presença da "nucleína" de mais tipos de células. Relaciona, juntamente, a necessidade do aprofundamento das pesquisas.

Com os avanços das pesquisas associadas às proteínas, já era atribuído a presença da nucleína como um composto de pentose; e a presença dessa fora do núcleo da célula, como o trabalho de Caspersson e Shultz (1939, p. 603, tradução nossa) em que afirmaram que "A presença de nucleotídeos de pentose em altas concentrações em tecidos de divisão rápida é, provavelmente, um fenômeno geral"¹². Em revisão, Allen (1941) discerne que diversos estudos voltados à análise de composição indicaram, inicialmente, que o RNA possuía bases semelhantes ao do DNA, com uma base uracila no lugar da timina.

Por subsequente, para atrelar a história do Mundo de RNA, a síntese sobre o RNA foi dividida em: Síntese de RNA (1954 - 1955), Clube da Gravata: faça ou morra, ou não tente (1954), Dogma central (1957 - 1958), RNA transportador (tRNA) (1958 – 1974), Evidência do RNA mensageiro (mRNA) (1957-1961); de modo a introduzir como estava ocorrendo a construção do Fato Científico RNA quando o Mundo de RNA foi apresentado como um novo Estilo de Pensamento.

4.1.1 Síntese de RNA (1954 - 1955)

Em 1955, a bioquímica e primeira professora mulher da Universidade de Harvard (Hoopes, 2010), Marianne Grunberg-Manago (1921 - 2013) (figura 4), nascida na União Soviética e naturalizada francesa, descreveu a probabilidade de sintetizar RNA em laboratório, ao lado do bioquímico e médico espanhol Severo Ochoa de Albornoz (1905 - 1993) no artigo científico "*Enzymatic synthesis and breakdown of polynucleotides; polynucleotide phosphorylase*" para a *Journal of the American Chemical Society*¹³ (Grunberg-Manago; Ochoa, 1955).

Marianne Grunberg-Manago nasceu em São Petersburgo, atual cidade na Rússia, em uma família de artistas. Emigraram para Nice, cidade litorânea da França,

¹¹ No português: "Sobre a composição química das células de pus".

¹² No texto original: "*The presence of pentose nucleotides in high concentrations in rapidly dividing tissues is probably thus a general phenomenon*" (Caspersson; Shultz, 1939, p. 603).

¹³ No português: "Síntese enzimática e degradação de polinucleotídeos; polinucleotídeo fosforilase" para o Jornal da Sociedade Química Americana. Este foi fundado em 1879 e considerado o periódico mais importante do mundo da Química. Disponível em: <https://pubs.acs.org/page/jacsat/about.html>. Acesso em: 28 mar. 2025.

onde Marianne finalizou seu Ensino Médio. Marianne teria, inicialmente, seguido o caminho da Literatura, formando-se em Literatura Comparada em 1940 e chegou a se matricular em uma escola de Arquitetura, todavia, devido à Segunda Guerra Mundial, não prosseguiu. Foi atuando como professora de Ciências Naturais em Nîmes, França, que desenvolveu um interesse maior sobre a área. Formou-se em Ciências na Universidade de Paris em 1943, e em 1947, realizou doutorado no laboratório do bioquímico estadunidense Irwin Gunsalus (1912 – 2008) na Universidade de Illinois em Urban-Champaign, EUA (Vioque, 2012; Comité Pour L'Entretien des Sépultures Orthodoxes Russes, 2023).

Figura 4 – Marianne Grunberg-Manago (1921 - 2013)



Fonte: Vioque (2012)
CC BY-NC-SA 4.0

Severo Ochoa de Albornoz (figura 5), conhecido no meio científico apenas por Severo Ochoa, cresceu na Espanha e apenas a deixou em 1936, quando essa se encontrava devastada pela guerra. Ochoa (1980) afirma que, na Alemanha, iniciou seus estudos no laboratório do médico alemão Otto Fritz Meyerhof (1884 - 1951). O local, que comumente trabalhava em pesquisas sobre o metabolismo muscular, estava atuando na caracterização e purificação de enzimas associadas à ação muscular. Foi apenas em 1938 que se mudou para o EUA, e começou a atuar no laboratório dos bioquímicos Carl Ferdinand Cori (1896 - 1984) e Gerty Theresa Radnitz Cori (1896 – 1957), ambos nascidos na Áustria-Hungria (atual República

Tcheca) e naturalizados estadunidenses, na Universidade de Washington. Ochoa (1980, p. 9 e 10, tradução nossa) indica que era extremamente empolgante trabalhar com o casal: “lá, as enzimas eram o que realmente importava e o trabalho com a fosforilase estava a todo vapor”¹⁴.

Figura 5 – Severo Ochoa (1905 - 1993)



**Fonte: Nobel Foundation archive (1959)
CC BY-NC-SA 4.0**

Por vários anos, Severo dedicou-se ao metabolismo do propionato — ácido graxo que é produzido pela microflora intestinal — devido à relatos de que a sua oxidação estava envolvida com a fixação de CO₂ (dióxido de carbono), formando o succinato (Ochoa, 1980) que é um intermediário do ciclo do ácido tricarboxílico (também conhecido como Ciclo de Krebs), possuindo um elemento-chave na geração de trifosfato de adenosina (ATP) em mitocôndrias (Mills; O’Neil, 2014), organelas presentes em células eucarióticas que atua na produção de energia.

¹⁴ No original: “*There, enzymes were the really important thing and work on phosphorylase was in full swing*” (Ochoa, 1980, p. 9 e 10).

Em 1954, pareceu-me que talvez fosse o momento de retornar à fosforilação oxidativa. Pensei que se deveria procurar uma fonte de enzimas capazes de converter ADP [*adenosine diphosphate*, difosfato de adenosina] em ATP e que se poderia acompanhar tal reação medindo a incorporação de radiofosfato em ATP. Também pensei que haveria uma chance de encontrar tais enzimas em extratos de *Azobacter vinelandii*, que oxidam carboidratos e outros compostos de forma muito ativa. Dois estudantes de pós-doutorado haviam chegado ao laboratório, Ernie Rose, de Chicago, e Marianne Grunberg-Manago, de Paris (Ochoa, 1980, p. 18, tradução nossa)¹⁵.

Grunberg-Manago (1997) afirma que conheceu Severo Ochoa em Paris, em 1952, durante o Segundo Congresso Internacional de Bioquímica. Ochoa palestrou sobre a fixação de CO₂ durante a oxidação do substrato, e apresentou os cristais da enzima condensadora — a formação de um cristal ocorre quando as moléculas de uma enzima (ou proteína) formam um arranjo periódico com três dimensões ao se associar de forma ordenada em um meio aquoso.

Seu nome era bem conhecido na França, mas principalmente na literatura, já que a Europa estava se recuperando da guerra e os encontros internacionais eram escassos. Era meu primeiro encontro internacional e eu estava animada. Eu já havia decidido que queria fazer meu pós-doutorado no laboratório de Ochoa e meu orientador, Eugène Aubel, me apresentou a ele. Severo Ochoa falava francês fluentemente e fiquei emocionada quando ele me aceitou em seu laboratório na Universidade de Nova York (N.Y.U.) [*New York University*] para começar em setembro de 1953. Concordamos que eu passaria primeiro alguns meses no laboratório de Irwin C. Gunsalus em Urbana. Severo ficou feliz em receber pós-doutores já treinados, e eu admirei o trabalho de Gunsalus. Felizmente, Gunsalus concordou com o plano (Grunberg-Manago, 1997, p. 351, tradução nossa)¹⁶.

Isolada do microrganismo *Azotobacter vinelandii*, a descoberta da enzima polinucleotídeo fosforilase, demonstrou a possibilidade de catalisar a formação de RNA: “[...] em analogia com os polissacarídeos, a fosforilase reversível pode ser um mecanismo importante na degradação biológica e síntese de cadeias

¹⁵ No original: “In 1954 it seemed to me that the time might be ripe to come back to oxidative phosphorylation. I thought that one should look for a source of enzymes capable of converting ADP to ATP and that one might follow such a reaction by measuring the incorporation of radiophosphate into ATP. I also thought that one would have a chance of finding such enzymes in extracts of *Azobacter vinelandii*, which very actively oxidize carbohydrates and other compounds. Two postdoctoral students had arrived in the laboratory, Ernie Rose from Chicago and Marianne Grunberg-Manago from Paris” (Ochoa, 1980, p. 18).

¹⁶ No original: “His name was well known in France, but mostly from the literature, as Europe was just recovering from the war and international meetings were scarce. It was my first international meeting and I was excited. I had already made up my mind that I wanted to do my postdoctoral studies in Ochoa's lab and my supervisor, Eugène Aubel, introduced me to him. Severo Ochoa spoke fluent French and I was thrilled when he accepted me in his lab at New York University (N.Y.U.) to start in September 1953. We agreed that I should first spend a few months in Irwin C. Gunsalus's lab in Urbana. Severo was happy to get already trained postdocs, and I admired Gunsalus's work. Fortunately Gunsalus agreed to the scheme” (Grunberg-Manago, 1997, p. 351).

polinucleotídicas” (Grunberg-Manago; Ochoa, 1955, p. 3166, tradução nossa)¹⁷. Marianne analisou que a enzima não era específica para a ADP, todavia, auxiliava na catalisação de troca com demais nucleotídeos de difosfato UDP (*uridine diphosphate*, difosfato de uridina), GDP (*guanosine diphosphate*, difosfato de guanosina) IDP (*inosine diphosphate*, difosfato de inosina), CDP (*cytidine diphosphate*, difosfato de citidina).

A **Protoideia** dessa formulação por Severo não tinha como objetivo possibilitar a síntese de RNA. Como descrito anteriormente, o Fato em questão era encontrar uma enzima que convertesse ADP em ATP. Todavia, foi a visão de Marianne para os resultados experimentais que oportunizou-a de compreender que embora o resultado não fosse o esperado, ainda eram importantes, neste sentido, o **Estilo de Pensamento** de Ochoa e Grunberg-Manago diferenciavam.

Marianne Grunberg-Manago (1997) indicou que, ao contar sobre o resultado do experimento em um almoço com colegas, ninguém acreditou nela. Inclusive Severo, que teria dado risada da situação e indicado o fato como impossível. “No entanto, um momento depois, arrependido da primeira reação, ele veio ao laboratório e eu consegui facilmente convencê-lo de que o verdadeiro substrato na reação de troca era o ADP” (Grunberg-Manago, 1997, p. 359, tradução nossa)¹⁸. Animado com a informação, Ochoa a teria incentivado a prosseguir. A comprovação veio em uma publicação no mesmo ano, em “*Enzymatic Synthesis of Nucleic Acidlike Polynucleotides*” para a *Science*¹⁹, junto à bioquímica Priscilla J. Ortiz e Ochoa:

As informações atuais sobre estrutura, tamanho, padrão de difração de raios - X e comportamento em relação às diferentes enzimas indicam que os polinucleotídeos sintetizados pelo polinucleotídeo fosforilase a partir de 5'-nucleosídeos difosfatos estão proximalmente relacionados ao RNA (Grunberg-Manago; Ortiz; Ochoa, 1955, p. 909, tradução nossa)²⁰.

¹⁷ No original: “[...] in analogy with polysaccharides, reversible phosphorolysis may be a major mechanism in the biological breakdown and synthesis of polynucleotide chains” (Grunberg-Manago; Ochoa, 1955, p. 3166).

¹⁸ No original: “However, a moment later, regretting his first reaction, he came to the lab and I was easily able to convince him that the real substrate in the exchange reaction was ADP” (Grunberg-Manago, 1997, p. 359).

¹⁹ No português: “Síntese enzimática de polinucleotídeos semelhantes a ácidos nucleicos” para a *Science*, fundada em 1880, sendo uma das revistas com artigos entre os mais citados do mundo. Disponível: <https://www.science.org/content/page/about-science-aaas>. Acesso em: 28 mar. 2025.

²⁰ No original: “Present information on structure, size, x-ray diffraction pattern, and behavior toward different enzymes indicates that the polynucleotides synthesized by polynucleotide phosphorylase from 5'-nucleoside diphosphates are closely related to RNA” (Grunberg-Manago; Ortiz; Ochoa, 1955, p. 909).

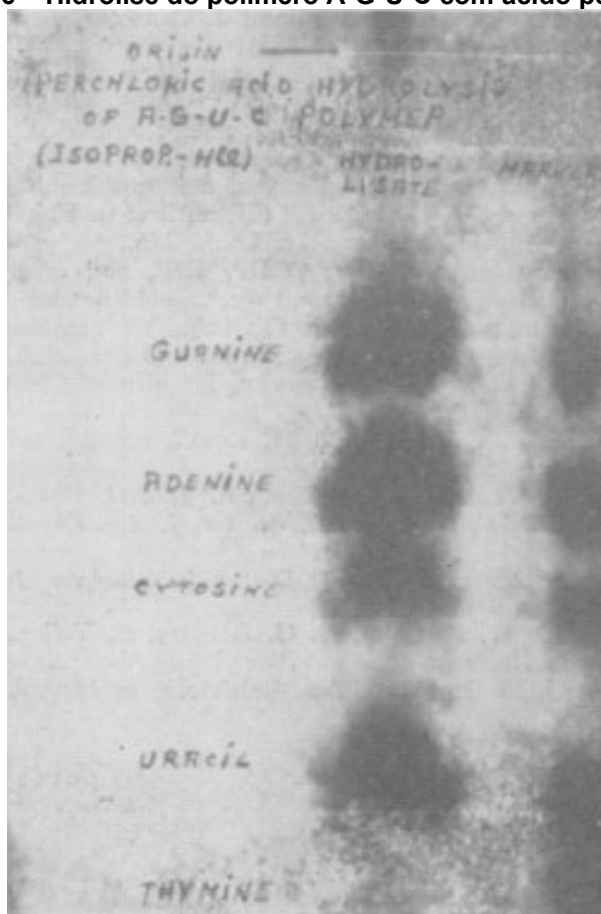
O experimento não havia apresentado bons resultados logo de início. Contra a **Harmonia das Ilusões** aprofundadas por Ochoa, foi a persistência de Marianne, que utilizando cromatografia em papel, após a incubação enzimática, permitiu a identificação de um novo ponto UV (ultravioleta) na mistura, e soube naquele momento que havia sintetizado um polinucleotídeo (Grunberg-Manago, 1997). Sobre seu **Coletivo de Pensamento** em seu trabalho, Marianne descreve:

Com a ajuda de amigos como Leon Heppel, Jacques Fresco e Alex Rich, os resultados chegaram rapidamente. Pude demonstrar que o produto foi precipitado por ácido (esse foi outro momento emocionante quando vi o polímero formar um gel sólido; acho que Jacques Fresco estava presente) e descobri que o polímero tinha um alto peso molecular (Alex Rich fez a primeira determinação do peso molecular). Logo descobri que o polímero tinha uma ligação diéster. Leon Heppel tinha todas as enzimas necessárias para identificar a estrutura e nos forneceu tudo o que precisávamos com sua generosidade habitual [primeira publicação]. Usando uma mistura de difosfatos de adenosina, uridina, citosina e guanosina, consegui sintetizar um copolímero semelhante ao RNA com as quatro bases [segunda publicação] (Grunberg-Manago, 1997, p. 360, tradução nossa)²¹.

Na figura 6 há a fotografia ultravioleta de um cromatograma de papel com isopropanol-HCl (ácido clorídrico) do hidrolisado realizado por Marianne. O polímero A-G-U-C aparentava ser indistinguível do RNA nativo — RNA sem modificações, a macromolécula natural. Ainda assim, antecedentemente de afirmar como sendo um ácido nucleico, as considerações finais da pesquisa pontuavam a necessidade de verificação se os compostos biossintéticos exibiriam propriedades biológicas, tomando como exemplo a própria síntese proteica (Grunberg-Manago; Ortiz; Ochoa, 1955).

²¹ No original: “With the help of friends like Leon Heppel, Jacques Fresco and Alex Rich, the results came quickly. I could show that the product was precipitated by acid (that was another exciting moment when I saw the polymer form a solid gel; I think Jacques Fresco was present) and I discovered that the polymer had a high molecular weight (Alex Rich made the first determination of the molecular weight). I soon found that the polymer had a diester linkage. Leon Heppel had all the necessary enzymes to identify the structure and he gave us all we needed with his usual generosity. Using a mixture of adenosine, uridine, cytosine and guanosine diphosphates, I was able to synthesize an RNA-like copolymer with the four bases” (Grunberg-Manago, 1997, p. 360).

Figura 6 – Hidrólise do polímero A-G-U-C com ácido perclórico



Fonte: Grunberg-Manago; Ortiz; Ochoa (1955, p. 909)
CC BY-NC-SA 4.0

O reconhecimento pela síntese do RNA veio no Prêmio Nobel em Fisiologia ou Medicina de 1959, em que Severo Ochoa dividiu com o estadunidense professor e bioquímico, Arthur Kornberg (1918 - 2007) (figura 7), creditado pela síntese do DNA.

Na *Nature Education*, Laura Hoopes (2010) comenta sobre a invisibilidade de Grunberg-Manago, pontuando sobre as ações de Ochoa na fase de aceitação do prêmio, que envolve entrevistas, palestras-aulas, dedicações; em que Severo utilizara sempre o pronome “nós”, entretanto, não o especificava: “Ela é a outra metade de “nós” que isolou essa enzima. Mas seu nome não é mencionado na palestra, nem no discurso em que ele agradeceu aos alunos e colegas anônimos que trabalharam em seu laboratório. A mulher é invisível” (Hoopes, 2010, s.p., tradução nossa)²².

²² No original: “She is the other half of “we” who isolated this enzyme. But her name is not mentioned in the lecture, nor in the speech in which he thanked the nameless students and associates who had worked in his laboratory. The woman is invisible” (Hoopes, 2010, s.p.).

Figura 7 – Arthur Kornberg (1918 - 2007)



**Fonte: Nobel Foundation archive (1959)
CC BY-NC-SA 4.0**

No discurso em questão, Ochoa teria agradecido, de forma generalizada, seus estudantes de diversos países pela conquista que ele alcançou. Além de citar que a Suécia deveria se orgulhar pelos seus pioneiros na Bioquímica e Química, que fundamentaram os avanços das pesquisas, como Bergman, Scheele, Berzelius e Arrhenius (Liljestrand, 1960).

4.1.2 Clube da Gravata: faça ou morra, ou não tente (1954)

O *RNA Tie Club* ou o “Clube da Gravata RNA” tinha como objetivo promover a “camaradagem” e a troca de informações e manuscritos associados à codificação genética. O clube era seletivo e contava com vinte integrantes escolhidos por George Gamow (1904 – 1968) (nome russo: Georgiy Antonovich Gamov) (figura 8) (Kay, 2000).

Figura 8 – George Gamow (1904 – 1968)



**Fonte: AIP Emilio Segrè Visual Archives, George Gamow Collection (s.d)
CC BY-NC-SA 4.0**

Gamow nasceu em Odessa, Império Russo, atual Ucrânia. Desde pequeno, se interessou pela Astronomia, o que o levou a estudar Física na Universidade de Odessa. Gamow se mudou para os EUA em 1933, e com seus avanços na Cosmologia, foi considerado um herdeiro natural do cosmólogo e matemático russo Alexander Alexandrovich Friedmann (1888 – 1925) e do belga Georges Henri Joseph Édouard Lemaître (1894 – 1966), denominados como “pais” da formulação de um universo em expansão (Bottino; Favero, 2022).

Em 1948, junto à Ralph Asher Alpher (1921 - 2007), publicou um de seus trabalhos mais conhecidos (conhecido como o *Alpher–Bethe–Gamow paper*, um trocadilho com alfa, beta e gama): o modelo de um universo primordial denso e quente, também conhecido como “Modelo do *Big Bang*” (Alpher; Bethe; Gamow, 1948), nome que não foi dado por Gamow. De acordo com Bottino e Favero (2022), George se recusava a utilizar dessa nomenclatura, considerando-a enganosa. O nome em questão teria sido cunhado pelo britânico astrônomo Fred Hoyle (1915 - 2001), para qual os autores afirmam ser um dos principais rivais de Gamow na Cosmologia, visto que contrariava suas proposições (Burbidge, 2003).

Vivendo dos estudos sobre o cosmo, como teria Gamow se relacionado com o universo do RNA? O Clube pretendia chegar à resposta da relação do RNA com a síntese de proteínas, e a ideia teria vindo de um cientista estadunidense que acabara de ficar mundialmente conhecido pela publicação sobre a estrutura do DNA ao lado do inglês Francis Harry Compton Crick (1916 – 2004) (figura 9, lado esquerdo), o biólogo molecular James Dewey Watson (1928 -2025) (figura 9, lado direito).

Figura 9 – Francis Crick (1916 – 2004); James Watson (1928-2025)



**Fonte: Nobel Foundation archive (1962)
CC BY-NC-SA 4.0**

Watson, em seu livro *“Avoid Boring People: Lessons from a Life in Science”*²³ (2007), descreveu como o Clube da Gravata RNA teria iniciado após uma conversa com Gamow:

Em uma visita a Berkeley [cidade na Califórnia, EUA] no início de maio de 1954, onde George estava em um ano sabático, propus que formássemos um clube de busca de códigos de vinte pessoas, um membro para cada aminoácido. George reagiu instantaneamente de forma positiva, antecipando muito o *design* de uma gravata e papelaria para nosso *RNA Tie Club* (Watson, 2007, p. 112, tradução nossa)²⁴.

²³ No português: “Evite pessoas chatas: lições de uma vida na Ciência”. Algumas revisões do livro em um dos maiores *sites* de recomendações, *Good Reads*, afirmam que o título reflete o lado egocêntrico de Watson, tanto em relações pessoais quanto às ações voltadas à Ciência. Disponível em: https://www.goodreads.com/book/show/977585.Avoid_Boring_People. Acesso em: 28 mar. 2025.

²⁴ No original: “On na early May 1954 visit to Berkeley, Where George was on sabbatical, I proposed that we form a Twenty-person code-seeking club, one member for Every amino acid. George

Crick teria chamado o clube de uma "coleção aleatória de amigos do Gamow" (Bottino; Favero, 2022, p.119, tradução nossa)²⁵, pois reunira cientistas de diferentes áreas e, “nas intenções de Gamow, tudo isso visava criar o maior número de ocasiões de encontros possível, considerando que ele estava convencido de que compartilhar e discutir ideias são premissas essenciais para o progresso científico” (Bottino; Favero, 2022, p.119, tradução nossa)²⁶. Inicialmente, a união desses pesquisadores em busca das respostas acerca do RNA demonstra um **Coletivo de Pensamento** cujo **Círculo Esotérico** quase beira o **Tráfego Intercoletivo de Ideias**, uma vez que os pesquisadores convidados por Gamow seriam de diferentes áreas e especialidades.

No quadro 5 há a relação dos vinte cientistas, com sua formação, nacionalidade, aminoácido representante — considerado como AA e identificado pela sigla — e uma breve informação sobre o que o personagem é conhecido no mundo científico.

Quadro 5 – Membros do RNA Tie Club

Membro	Formação	Nacionalidade	AA	Conhecido por:
Alexander Latham Dounce (1909 – 1997)	Bioquímico	Estadunidense	GLN (glutamina)	Homogeneizador Dounce: vidraria de laboratório utilizado para homogeneizar células eucarióticas.
Alexander Rich (1924 – 2015)	Bioquímico e biofísico	Estadunidense	ARG (arginina)	Descoberta de polissomos: grupo da organela ribossomo, responsável pela síntese proteica; Creditado pela formulação do “Mundo de RNA”.
Edward Teller (Nome húngaro: Teller Ede, 1908 – 2003)	Físico	Austro-húngaro	LEU (leucina)	“Pai” da bomba de hidrogênio; Design Teller-Ulam.
Erwin Chargaff (1905 – 2002)	Bioquímico	Austro-húngaro	LYS (lisina)	“Regra de Chargaff”: No DNA, a quantidade de Citosina (C) é equivalente à quantidade de Guanina (G), e o mesmo se aplica à Timina (T) e a Adenosina (A).

instantly reated positively, Much anticipating designing a tie and stationery for our RNA Tie Club” (Watson, 2007, p. 112).

²⁵ No original: “*haphazard collection of Gamow’s friends*” (Bottino; Favero, 2022, p.119).

²⁶ No original: “*In Gamow’s intentions, all this was aimed at creating as many occasions for gathering as possible, since he is convinced that sharing and discussing ideas are the essential premises for scientific progress*” (Bottino; Favero, 2022, p.119).

Francis Harry Compton Crick (1916 – 2004)	Biólogo molecular	Inglês	TYR (tirosina)	Declara o termo “dogma central” da Biologia: DNA faz o RNA, RNA faz proteína; Receber os créditos pela estrutura do DNA.
George Gamow (Nome russo: Georgiy Antonovich Gamov, 1904 – 1968)	Professor de Física e cosmólogo	Russo (local atual, Odessa, o classificaria como ucraniano)	ALA (alanina)	“Fator de Gamow”: fator de probabilidade em que será superado a chamada “Barreira de Coulomb” por duas partículas nucleares, fazendo com que ocorra uma reação nuclear. Um dos primeiros cientistas responsáveis pelo desenvolvimento da teoria do “Big Bang”.
Gunther Siegmund Stent (1924 – 2008)	Professor de Biologia molecular	Alemão	PHE (fenilalanina)	Biologia molecular de vírus bacterianos (livro publicado com o mesmo nome, “ <i>Molecular Biology of Bacterial Viruses</i> ”, ficou muito conhecido em 1963.
Harold Gordon	Biólogo	Sem informações	SER (serina)	Sem informações.
James Dewey Watson (1928 - 2025)	Biólogo molecular e geneticista	Estadunidense	PRO (prolina)	Receber os créditos pela estrutura do DNA.
Leslie Eleazer Orgel (1927 – 2007)	Químico	Inglês	THR (treonina)	Embasamentos do Mundo de RNA; Regras de Orgel: “Sempre que um processo espontâneo é muito lento ou muito ineficiente, uma proteína evolui para acelerá-lo ou torná-lo mais eficiente.” E “A evolução é mais inteligente do que você.”
Martynas Yčas (1917 – 2014)	Microbiologista	Lituano	CYS (cisteína)	Responsável pelo livro “ <i>The Biological Code</i> ”.
Max Ludwig Henning Delbrück (1906 – 1981)	Biofísico	Alemão	TRP (triptofano)	Descobertas associadas ao mecanismo de replicação dos vírus.
Melvin Ellis Calvin (1911 –1997)	Bioquímico	Estadunidense	HIS (histidina)	Ciclo de Calvin: também conhecido como Calvin-Benson, fase da fotossíntese que não necessita de luz.
Nicholas Constantine Metropolis (1915 – 1999)	Físico	Grego	MET (metionina)	Algoritmo de Metropolis, conhecido o método Monte Carlo (amostragem aleatória para obtenção de resultados numéricos)

				mais usado.
Norman Simmons (1915 – 2004)	Professor de Biofísica	Estadunidense	ILE (isoleucina)	Isolamento de DNA estruturalmente puro (refinamento de técnicas).
Paul Mead Doty (1920 – 2011)	Professor de Bioquímica	Estadunidense	ASP (aspartato)	Caracterização de biopolímeros.
Richard Phillips Feynman (1918 – 1988)	Físico	Estadunidense	GLY (glicina)	Contribuições na eletrodinâmica quântica; Diagrama de Feynman: representação de fenômenos eletromagnéticos.
Robert Steven Ledley (1926 – 2012)	Professor de Fisiologia, Biofísica e Radiologia	Estadunidense	ASN (asparagina)	Inventor do <i>Automatic Computerized Transverse Axial</i> (ACTA) (Axial Transversal Computadorizado Automático), tomografia computadorizada, comumente chamada de <i>CAT scan</i> .
Robley Cook Williams (1908 – 1995)	Virologista	Estadunidense	GLU (glutamato)	Trabalhos associados ao vírus do mosaico do tabaco, um vírus RNA.
Sydney Brenner (1927 – 2019)	Biólogo	Sul-africano	VAL (valina)	Contribuições para o código genético.

Fonte: Autoria própria (2025), baseado em Kay (2000).

O papel timbrado do clube era enfeitado pelo lema criado pelo biofísico alemão, Max Ludwig Henning Delbrück (1906 – 1981), "Faça ou morra, ou não tente"²⁷. Juntamente, havia uma lista de "oficiais" do clube: George Gamow, sintetizador; James Watson, otimista; Francis Crick, pessimista; Martynas Yčas (1917 – 2014), arquivista; Alexander Rich, lorde do selo privado (Kay, 2000).

O químico inglês Leslie Eleazer Orgel (1927 – 2007), propôs que cada membro tivesse uma gravata diagramada (figura 10). Gamow fez o *design*, por um armário de Los Angeles e um alfinete de gravata com uma abreviação dos aminoácidos correspondentes ao membro. Crick (1966) discerniu que deveria haver quatro membros honorários, sendo um para cada uma das quatro bases nitrogenadas (A – Adenosina, T – Timina, C – Citosina e G – Guanina), porém, não foram eleitos mais do que dois.

²⁷ No original: "Do or die, or don't try".

Figura 10 – Clube do RNA, Portugal Place, Cambridge, Inglaterra (1955)



Fonte: Na frente (da esquerda para a direita), Alexander Rich, James Watson. Atrás (da esquerda para a direita), Francis Crick, Leslie Orgel. Coleção de Alexander Rich (Kay, 2000, p. 142). CC BY-NC-SA 4.0

James (2007) afirma que nunca houve uma convenção envolvendo todos os membros do Clube de Gravata RNA, todavia, as "notas" produzidas do **Coletivo de Pensamento** levaram ao avanço do conhecimento sobre o código genético. A mais famosa dessas notas, foi escrita por Francis, "com o tempo mudaria totalmente a maneira como pensávamos sobre a síntese de proteínas" (Watson, 2007, p. 112, tradução nossa)²⁸, mencionando aqui, o Dogma Central.

4.1.3 Dogma central (1957 - 1958)

O biólogo molecular inglês Francis Harry Compton Crick (1916 – 2004) propôs em 1957, o chamado "Dogma Central", e o definiu em publicação "*On protein synthesis*" no *Symposia of the Society for Experimental Biology*²⁹ em 1958. Crick estabeleceu uma possível associação entre as macromoléculas DNA, RNA e proteínas:

²⁸ No original: "[...] *in time would totally chance the way we thought about protein synthesis*" (Watson, 2007, p. 112).

²⁹ No português: "Sobre a síntese de proteínas" para o "Simpósio da Sociedade de Biologia Experimental".

Meu próprio pensamento (e o de muitos dos meus colegas) é baseado em dois princípios gerais, que chamarei de Hipótese da Sequência e Dogma Central. A evidência direta para ambos é insignificante, mas descobri que eles são de grande ajuda para lidar com esses problemas muito complexos (Crick, 1958, p. 152, tradução nossa)³⁰.

Crick nasceu em Northampton, Inglaterra. Formou-se em Física em Londres, onde também iniciou seu doutorado, que foi interrompido em 1939 pela eclosão da guerra. Durante esse período, atuou como cientista para o Almirantado Britânico — departamento governamental da Marinha Real Britânica — trabalhando com minas magnéticas até 1947, quando iniciou seus estudos em Biologia. Crick viajou para Cambridge e em 1949, ingressou na Unidade do Conselho de Pesquisa Médica, que funcionava no Laboratório Cavendish de Cambridge. Em 1962, a unidade mudou-se para um novo local, o Laboratório de Biologia Molecular do Conselho de Pesquisa Médica. Assim, em 1950, foi aceito no *Caius College*, em Cambridge, onde tornou-se doutor com uma tese sobre difração de raios X em proteínas, em 1954. Em 1951 Crick iniciou uma amizade com um jovem chamado James Watson — cuja participação com o RNA será comentada em breve — com o qual realizou diversas pesquisas acerca do DNA (Crick, 1988).

Crick levou o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina de 1962 juntamente à James Watson e o físico neozelandês Maurice Hugh Frederick Wilkins (1916 – 2004) pela descoberta da estrutura molecular dos ácidos nucleicos, assim como a relativa importância para a transferência de informações. Atualmente, é de conhecimento popular a controvérsia envolvendo a falta reconhecimento da química inglesa Rosalind Elsie Franklin (1920 - 1958), que juntamente ao físico e professor Raymond George Gosling (1926 - 2015), foram responsáveis pela fotografia do DNA por difração de raios X de mais alta qualidade, que proporcionou a identificação da cadeia dupla (Franklin; Gosling, 1953).

Assim como o grande querido da Química, o estadunidense Linus Carl Pauling (1901 - 1994), o qual todos do mundo da Ciência sabiam estar na busca pela elucidação da estrutura do DNA; que resultou em um artigo científico sobre a probabilidade de uma macromolécula com três cadeias (Pauling; Corey, 1953), e teria influenciado diretamente os demais cientistas pela comprovação da estrutura.

³⁰ No original: “My own thinking (and that of many of my colleagues) is based on two general principles, which I shall call the Sequence Hypothesis and the Central Dogma. The direct evidence for both of them is negligible, but I have found them to be of great help in getting to grips with these very complex problems” (Crick, 1958, p. 152).

Em suma, o ponto crucial é: Crick era respeitado. A publicação com Watson o rendeu um grande poder dentro da comunidade científica, o de ser ouvido e apoiado. Desta forma, quando o Clube da Gravata RNA fomentou a ideia de Crick — assim como o **Estilo de Pensamento** para a construção de saberes dos ácidos nucleicos — o mesmo soube que era o momento de compartilhar, em um artigo.

A Hipótese da Sequência mencionada por Crick (1958), refere-se, como o próprio pontua, a uma ideia deverasmente discutida na época, de que um ácido nucleico em sua forma mais simples, expressa especificidade pela sequência de suas bases, e essa sequência possui um código simples para uma determinada sequência de aminoácidos de uma proteína. Quanto ao Dogma Central, afirma:

Isto afirma que uma vez que a "informação" tenha passado para a proteína, ela não pode sair novamente. Mais detalhadamente, a transferência de informação de ácido nucleico para ácido nucleico, ou de ácido nucleico para proteína pode ser possível, mas a transferência de proteína para proteína, ou de proteína para ácido nucleico é impossível. 'Informação' significa aqui a determinação precisa da sequência, seja de bases no ácido nucleico ou de resíduos de aminoácidos na proteína (Crick, 1958, p. 153, tradução nossa)³¹.

No que permeia o RNA, poderia se afirmar que Crick forneceu aqui o **Acoplamento Ativo** no que é associada às funções da macromolécula. Embora a primeira publicação oficial tenha entregado à Crick os créditos, o debate sobre a relação já acontecia anos antes.

4.1.4 RNA transportador (tRNA) (1958 – 1974)

4.1.4.1A descoberta do tRNA

A descoberta do RNA transportador (tRNA) foi descrita pelo bioquímico estadunidense Mahlon Bush Hoagland (1921 - 2009), Mary Louise Stephenson, Jesse F. Scott e Liselotte I. Hecht e o estadunidense Paul Charles Zamecnik (1912 - 2009). Em “*A soluble ribonucleic acid intermediate in protein synthesis*” (1958) publicado no *The Journal of Biological Chemistry*³², a equipe identificou que:

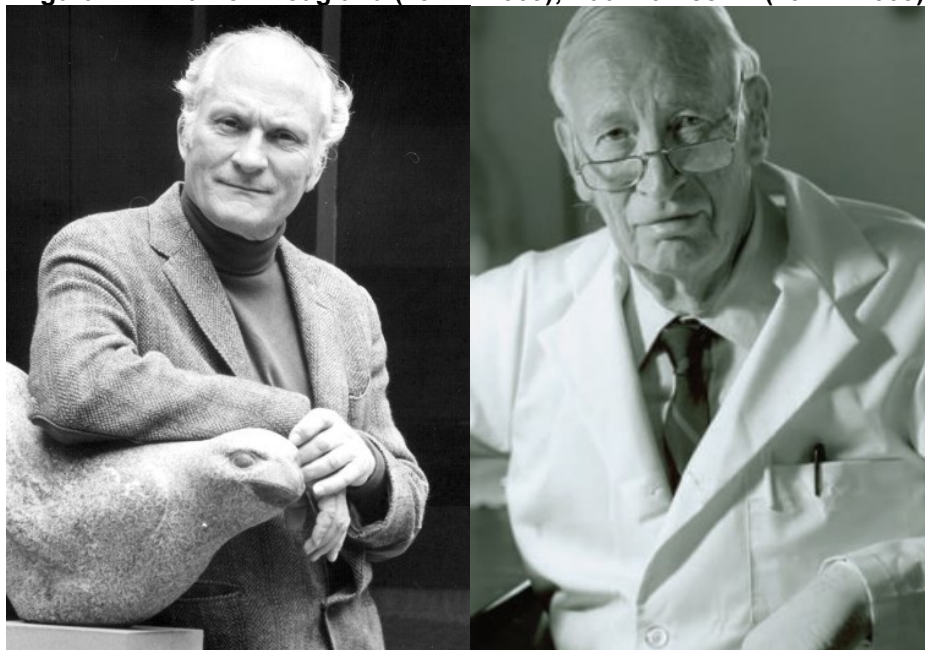
³¹ No original: “*This states that once ‘information’ has passed into protein it cannot get out again. In more detail, the transfer of information from nucleic acid to nucleic acid, or from nucleic acid to protein may be possible, but transfer from protein to protein, or from protein to nucleic acid is impossible. Information means here the precise determination of sequence, either of bases in the nucleic acid or of amino acid residues in the protein*” (Crick, 1958, p. 153).

³² No português: “Um intermediário de ácido ribonucleico solúvel na síntese de proteínas” publicado no “Jornal de Química Biológica”, apresenta Ciência de alta qualidade, busca a elucidação da base molecular e celular. Disponível em: <https://www.jbc.org/content/aims>. Acesso em: 28 mar. 2025.

O produto formado, um RNA ou ribonucleoproteína ao qual os aminoácidos estão aparentemente ligados covalentemente, é capaz de interagir com componentes enzimáticos da preparação da enzima ativadora e com microsossomos para efetuar a transferência do aminoácido para a ligação peptídica na proteína (Hoagland *et al.*, 1958, p. 254, tradução nossa)³³.

Mahlon Hoagland (figura 11, lado esquerdo) nasceu em Boston, Massachusetts, EUA. Matriculou-se na Faculdade de Medicina de Harvard, pois tinha o sonho de ser cirurgião, todavia, após receber seu diploma de Medicina em 1948, foi diagnosticado com tuberculose. Com a saúde extremamente precária, foi impedido de se tornar cirurgião. Seguiu como pesquisador de pós-doutorado ao lado do bioquímico, nascido na Prússia Ocidental, Fritz Albert Lipmann (1899 - 1986). Após um ano, mudou-se de laboratório e iniciou seus estudos com o professor e médico Paul Charles Zamecnik (1912 - 2009) (figura 11, lado direito), trabalhando com síntese de proteínas (Kresge; Simoni; Hill, 2009).

Figura 11 – Mahlon Hoagland (1921 - 2009); Paul Zamecnik (1912 - 2009)



**Fonte: Esquerda: Kresge, Simoni e Hill (2009); direita: Pederson (2009)
CC BY-NC-SA 4.0**

O grupo identificou, pela presença de RNA solúveis, que esses auxiliavam na transferência de aminoácidos ligados aos ácidos ribonucleicos à proteína microssomal: “Portanto, sugere-se que essa fração específica de RNA funcione como

³³ No original: “The product formed, an RNA or ribonucleoprotein to which amino acids are apparently covalently linked, is capable of interacting with enzymatic components of the activating enzyme preparation and with microsomes to effect the transfer of the amino acid to peptide linkage in protein” (Hoagland *et al.*, 1958, p. 254).

um transportador intermediário de aminoácidos na síntese de proteínas” (Hoagland *et al.*, 1958, p. 254, tradução nossa)³⁴. Kresge, Simoni e Hill (2009) indicam que, após a publicação sobre o tRNA, Hoagland teria viajado à Cambridge. Então conheceu Francis Crick, e iniciaram mais pesquisas.

4.1.4.2A determinação da estrutura tridimensional do tRNA

Considerando que, atualmente, sabemos da ordem relativa da síntese de proteínas — DNA realiza a transcrição para RNA, que realiza a tradução para proteínas, que por sua vez, são formadas por resíduos de aminoácidos — poderia passar a ideia errônea de que o descobrimento de cada molécula se deu nesta ordem “decrecente”. Na realidade, os aminoácidos foram descobertos, gradativamente, durante o século XIX através de diferentes mecanismos de extração, a partir de alimentos (em sua maioria). Desta forma, analisar a presença dessas micromoléculas era um conhecimento bem difundido para o período de exploração do RNA.

O professor Brian Frederic Carl Clark (1936 - 2014), que atuou na pesquisa, discerne que, embora houvesse a importância para estabelecer confirmações sobre os fundamentos da química estrutural de ácidos, tal relação não foi assemelhada com a determinação da estrutura tridimensional do tRNA (Clark, 2006).

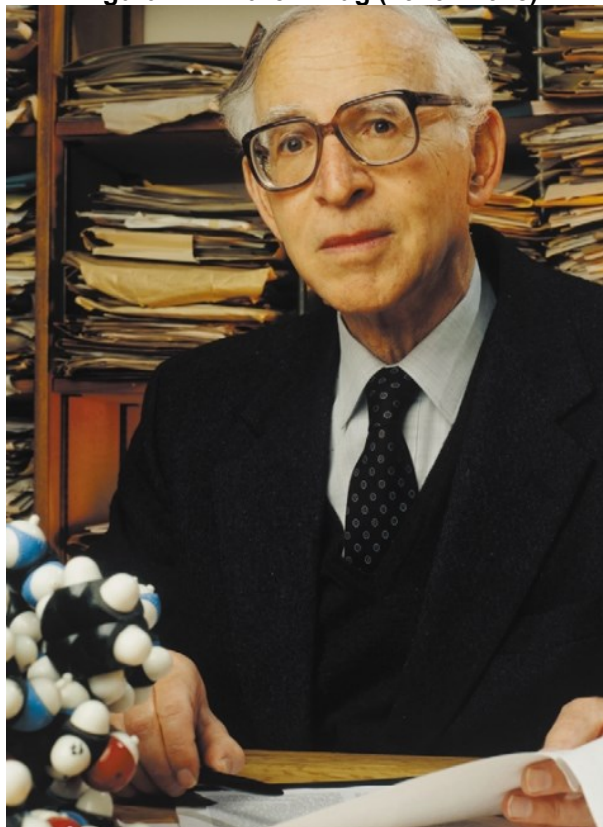
Houve uma “confusão”, associada à intensa competição entre muitos grupos de pesquisa, rivalidade que resultou em dois grupos que chegaram “por primeiro”: esses liderados pelo químico lituano Aaron Klug (1926 - 2018) (figura 12) no Laboratório de Biologia Molecular do *Medical Research Council* (MRC), em Cambridge, Reino Unido, e o biólogo estadunidense Alexander Rich (1924 - 2015) no Departamento de Biologia do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), em Cambridge, Massachusetts, EUA (Clark, 2006).

De acordo com Amos e Finch (2004), Aaron Klug (figura 12) nasceu na Lituânia, mas mudou-se para a África do Sul quando era criança. Tinha fascínio pelos trabalhos em óptica de raios X na época em que estudava na África do Sul. Estudou medicina, e posteriormente, passou a estudar Química, Física e Matemática. Tornou-se bolsista de doutorado em 1949 no Laboratório Cavendish em Cambridge, Reino Unido. No ano de 1953, obteve uma bolsa para atuar no laboratório, em Londres, do

³⁴ No original: “It is therefore suggested that this particular RNA fraction functions as an intermediate carrier of amino acids in protein synthesis” (Hoagland *et al.*, 1958, p. 254).

cientista irlandês John Desmond Bernal (1901 - 1971), trabalhando com análise de raios X de proteínas em *Birkbeck College*. Foi lá que conheceu a cientista Rosalind Franklin, que utilizava a difração de raios X para estudar a estrutura do vírus do mosaico do tabaco, e ela o apresentou aos conjuntos macromoleculares.

Figura 12 – Aaron Klug (1926 - 2018)

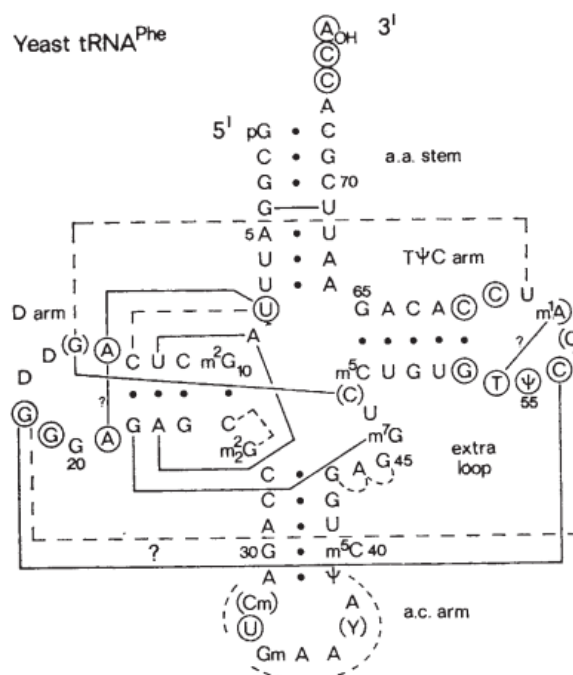


**Fonte: Clark (2006)
CC BY-NC-SA 4.0**

Klug, com sua equipe composta por J. D. Robertus, Jane E. Ladner, J. T. Finch, Daniela Rhodes, R. S. Brown e Brian Frederic Carl Clark; indicam que a estrutura do tRNA foi determinada através de substituição isomórfica — técnica em que um íon ou átomo na estrutura é substituído por outro que apresenta tamanho similar, de modo a manter as características estruturais — e algumas das interações que mantêm a estrutura terciária possuem propriedades inéditas (Robertus *et al.*, 1974). A sequência estabelecida foi a do tRNA^{PHE} (RNA transportador fenilalanina) de levedura, sendo organizada na fórmula de forma similar à folha de trevo em resolução 3 Å (Ångström)³⁵ (figura 13).

³⁵ Unidade de medida equivalente a 10⁻¹⁰ metros.

Figura 13 – tRNA^{PHE} de levedura (equipe Klung)



**Fonte: Robertus *et al.* (1974)
CC BY-NC-SA 4.0**

De acordo com o modelo, o braço da folha de trevo é composto por uma haste de dupla hélice e uma alça de fita simples. As bases circuladas são invariantes em todas as sequências de tRNA. Entre colchetes estão as semi-invariantes (exclusivamente purinas ou pirimidinas). Unidos por linhas contínuas, estão os nucleotídeos que formam pares de bases na estrutura terciária (Robertus *et al.*, 1974). Nas considerações finais, afirmaram:

Gostaríamos de enfatizar que o modelo está em boa concordância com os resultados de um estudo complementar sobre a reatividade química do tRNA fenilalanina de levedura, conforme já relatado por nós. O modelo é estereoquimicamente sólido dentro dos limites físicos da construção com componentes de estrutura metálica e está sendo refinado. Dados em resolução mais alta também estão sendo coletados (Robertus *et al.*, 1974, p. 550)³⁶.

A segunda equipe mencionada é a de Alexander Rich (1924 - 2015) (figura 14, lado esquerdo). Após 10 anos da descoberta do tRNA pela equipe de Hoagland (1958), Rich junto à Kim Sung-Hou (em coreano: 김성호) (1937 -) (figura 14, lado

³⁶ No original: "We should like to emphasise that the model is in good accord With the results of a companion study of the chemical reactivity of yeast tRNA phenilalanine as already reported by us. The model is stereochemically sound within the physical limits of building With skeletal wire componentes, and is now being refined. Data to higher resolution are also being colleted" (Robertus *et al.*, 1974, p. 550).

direito) produziram os primeiros cristais do iniciador bacteriano tRNA^{MET} (RNA transportador metionina) (Perrigue; Erdmann; Barciszewski, 2015).

Figura 14 – Alexander Rich (1924 - 2015) e Kim Sung-Hou (1937 -)



**Fonte: Coveney (2018); BioSciences (s.d.)
CC BY-NC-SA 4.0**

Alexander Rich, mencionado previamente por estar presente diferentes laboratórios de Biologia Molecular, no auxílio à Marianne Grunberg-Manago e também como um integrante oficial do Clube da Gravata RNA, cresceu em Springfield, nos EUA. Recebeu uma bolsa de estudos para a *Harvard College* migrando posteriormente para a faculdade de Medicina, a qual abandonou após conhecer o mundo da Química: ao conhecer e trabalhar com o professor de Química Biológica, o estadunidense John Tileston Edsall (1902 – 2002), que trabalhava com macromoléculas biológicas, em especial, as proteínas. Com essa nova paixão, resolveu dedicar-se às pesquisas de Química, e iniciou seus trabalhos no Instituto de Tecnologia da Califórnia (*California Institute of Technology - Caltech*), com o polímata Linus Pauling (Kaiser, 2018). Schimmel (2015, p. 291, tradução nossa) indica que “Para seu pesar, ele nunca publicou com Pauling; quando perguntado sobre o que Rich havia conquistado durante sua gestão, Pauling aparentemente respondeu: “não muito, mas ele deve ter aprendido muito””³⁷.

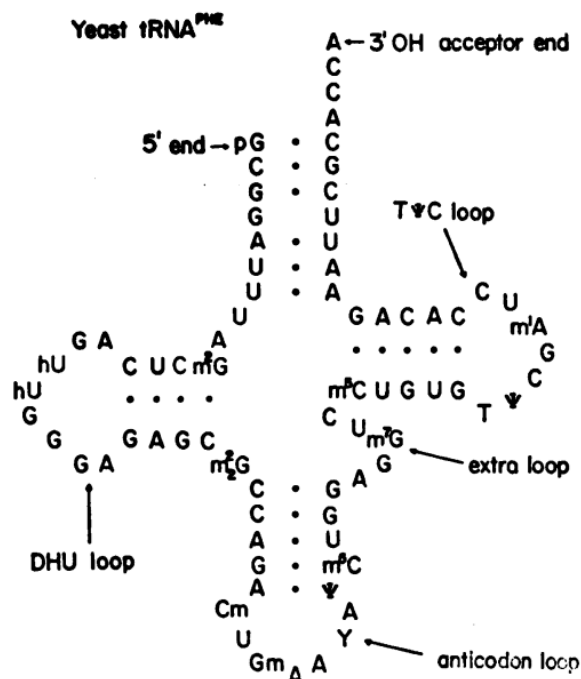
³⁷ No original: “To his regret, he never published with Pauling; when asked what Rich had achieved during his tenure, Pauling apparently replied: “not much, but he must have learned a lot” (Schimmel, 2015, p. 291).

Em 1955, Rich e Francis Crick trabalharam juntos no Laboratório Cavendish em Cambridge, Reino Unido, onde determinaram as estruturas das proteínas poliglicina II e colágeno (Schimmel, 2015). É conveniente afirmar que Rich tinha uma ampla rede de contatos, e que esses contatos eram as pessoas consideradas mais importantes para a Ciência no momento.

Kim Sung-Hou é um biólogo estrutural e professor coreano. Estudou na Universidade Nacional de Seul, Coreia do Sul, e fez seu doutorado na Universidade de Pittsburgh, EUA, em 1966. Nessa época, atuou como pesquisador associado no MIT sob a supervisão de Alexander Rich. Atuou como professor assistente e associado no Departamento de Bioquímica da Faculdade de Medicina da Universidade Duke durante os anos de 1972 a 1978. Posteriormente, e até o ano atual, trabalha como professor no Departamento de Química da Universidade da Califórnia, Berkeley (Joshi, 2024).

Em 1973, mesmo ano da publicação da equipe de Klug, Sung-Hou e Rich junto à G. J. Quigley, F. L. Suddath, A. McPherson, D. Sneden, J. J. Kim e J. Weinzierl resolveram a estrutura do tRNA^{PHE} (figura 15) com resolução de 4 Å (Kim *et al.*, 1973).

Figura 15 – tRNA^{PHE} de levedura (equipe Rich)



CC BY-NC-SA 4.0

Sobre o modelo formado do tRNA, indicaram que: “a visualização das bases purinas e pirimidinas é necessariamente rudimentar com uma resolução de 4 Å, e

aguardaremos a análise do mapa de 3 Å antes de citar em detalhes quais interações estabilizam a conformação tridimensional” (Kim *et al.*, 1973, p. 179, tradução nossa)³⁸. Eis aqui a questão que é atribuída como controvérsia na corrida pela estrutura do tRNA. Ambos os grupos de pesquisas atuaram em busca da estrutura tridimensional, todavia, a resolução em 3 Å, julgada necessária no trabalho publicado em dezembro de 1974 pela equipe de Rich, já havia sido publicada pela equipe de Klug em agosto de 1974. Clark (2006) indica que na “competição” havia diversos pesquisadores pelo mundo — ressaltando que o mesmo estava presente na equipe de Klug — e conclui:

A determinação da estrutura 3D de um tRNA não rendeu a ninguém um Prêmio Nobel, possivelmente porque muitas pessoas estiveram envolvidas e os métodos utilizados se mostraram relativamente padronizados, mas nos proporcionou uma enorme satisfação na época (Clark, 2006, p. 457, tradução nossa)³⁹.

Na publicação de Robertus *et al.* (1974, p. 551, tradução nossa) agora consta: “Nota adicionada na revisão: Os pesquisadores do MIT revisaram seu modelo (Rich, comunicação pessoal)”⁴⁰. A elucidação da estrutura do tRNA^{PHE} foi um marco considerável e “abriu as portas” da possibilidade nos avanços sobre demais mecanismos moleculares.

A elucidação do tRNA fomentou-se na “competição” entre os diferentes grupos de pesquisa. Aqui citados, os dois lados: equipe Klug e equipe Rich. O que melhor permeia tal situação é o conceito **Tráfego Intercoletivo de Ideias**, no qual dois **Coletivos de Pensamento**, de grupos distintos, possuíam um **Estilo de Pensamento** similar, que visavam o mesmo objetivo.

4.1.5 Evidência do RNA mensageiro (mRNA) (1957-1961)

A primeira evidência da existência do RNA mensageiro (mRNA) foi em 1957, quando uma equipe de cientistas russos, composta por Alexander Sergeevich Spirin (1931 – 2020); Andrey Nikolayevich Belozersky (1905 – 1972); Vladimir Petrovich Skulachev (1935 – 2023) e Boris F. Vanyushin, publicaram “Изучение видовой

³⁸ No original: “the visualization of the purine and pyrimidine bases is necessarily crude at 4 Å resolution, and we will await the analysis of the 3 Å map before citing in detail which interactions stabilize the three-dimensional conformation of tRNA” (Kim *et al.*, 1973, p. 179).

³⁹ No original: “So, the 3D structural determination of a tRNA did not gain anyone a Nobel Prize, possibly because too many people were involved and the methods used turned out to be relatively standard, but it gave us enormous satisfaction at the time” (Clark, 2006, p. 457).

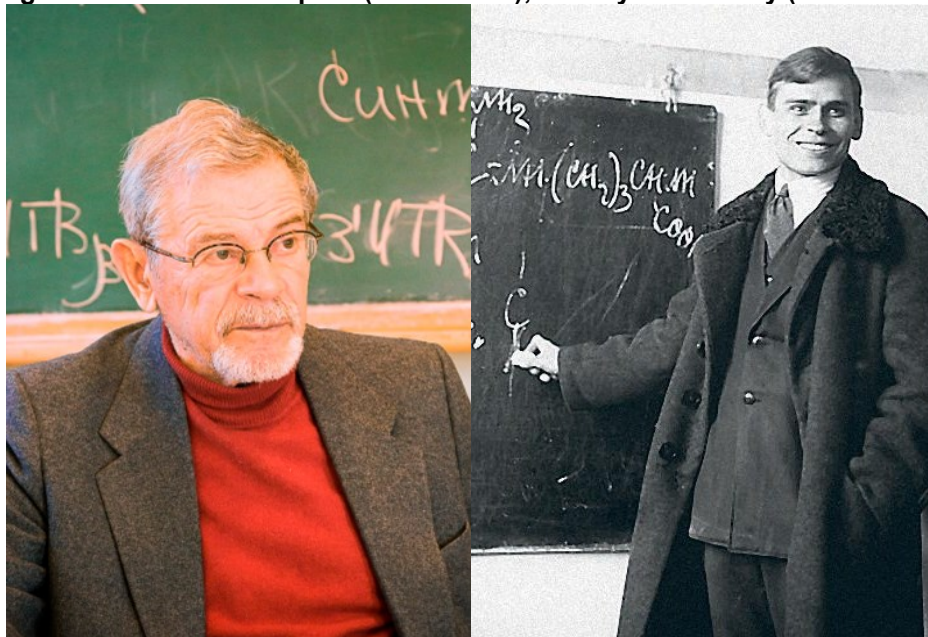
⁴⁰ No original: “Note added in proof: The MIT workers have now revised their model (Rich, personal communication)” (Robertus *et al.*, 1974, p. 551).

специфичности нуклеиновых кислот у бактерий” (1957)⁴¹ descrevendo o estudo sobre a composição de nucleotídeos de DNA e RNA, utilizando cromatografia quantitativa em papel em combinação com espectrofotometria ultravioleta, em dezenove espécies bacterianas de diversos grupos sistemáticos, em que:

[...] foi descoberto o fato de uma amplitude relativamente pequena de variação em sua composição durante a transição de espécie para espécie. Isso indica que o RNA total é relativamente menos específico que o DNA. Certas diferenças, embora pequenas, na composição de nucleotídeos do RNA são encontradas apenas em espécies distantes (Spirin *et al.*, 1957, p. 753, tradução nossa)⁴².

Alexander Spirin (figura 16, lado esquerdo) tornou-se doutor em 1957, sob a orientação de Andrey Belozersky (figura 16, lado direito) no Instituto de Bioquímica Bach, em Moscou, Rússia.

Figura 16 – Alexander Spirin (1931 - 2020); Andrey Belozersky (1905 - 1972)



Fonte: Esquerda: Evdokimova, Svitkin e Sonenberg (2021); direita: Skulachev (2016)
CC BY-NC-SA 4.0 e domínio público.

De acordo com Evdokimovaa, Svitkinb e Sonenberg (2021), com auxílio do presidente da Academia de Ciências da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), o soviético matemático Mstislav Vsevolodovich Keldysh (1911 - 1978),

⁴¹ No português: “Estudo da especificidade de espécies de ácidos nucleicos em bactérias”.

⁴² No original: “[...] обнаружен факт сравнительно небольшого размаха варьирования ее состава при переходе от вида к виду. Это свидетельствует в пользу относительно меньшей специфичности суммарной РНК, чем ДНК. Определенные, хотя и небольшие, различия в нуклеотидном составе РНК обнаруживаются только у отдаленных видов” (Spirin *et al.*, 1957, p. 753).

Alexander criou, em 1967, o Instituto de Pesquisa de Proteínas, em parceria com Oleg Borisovich Ptitsyn (1929 - 1999):

A filosofia de Alex era simples, mas frequentemente esquecida na ciência moderna: somente o conhecimento científico e a capacidade de vislumbrar novos rumos na pesquisa são meritórios, e o sucesso do indivíduo depende do trabalho em equipe de muitos. Em sua instituição, uma das mais conhecidas do mundo dedicada à pesquisa de proteínas, Alex criou um polo intelectual, reunindo físicos, biólogos estruturais e bioquímicos. Ele acreditava firmemente que não são as descobertas do passado, mas as pessoas e a cultura científica que impulsionam novos rumos na ciência. Alex e sua equipe mantiveram acesa a chama da ciência de classe mundial em meio à avalanche de realidades políticas e econômicas do país que, até 1991, era a URSS (Evdokimovaa; Svitkinb; Sonenberg, 2021, p. 1, tradução nossa)⁴³.

Desta maneira, Spirin ficou conhecido por comumente promover o diálogo entre os **Círculos Eso e Exotérico** da Ciência. Promovia diferentes momentos de comunhão dos pensamentos e o **Tráfego Intracoletivo de Ideias**. Todavia, acreditava-se que a barreira linguística das publicações em russo, além da realidade política acerca da URSS para com os demais países, tenha dificultado a divulgação de suas pesquisas.

Andrey Belozersky ficou conhecido como um grande professor e de acordo com o *The New York Times* (1973), foi condecorado três vezes com a Ordem de Lenin — referência à Vladímir Ilitch Lenin, considerada a maior condecoração da URSS — e em um obituário que teve a coletânea de assinaturas de diversos líderes soviéticos, assim, Belozersky foi descrito como um bioquímico de renome mundial.

4.1.5.1 O papel do mRNA

O papel do RNA mensageiro (mRNA) na regulação do gene, estabelecendo esse como a base da passagem de informações do DNA para as proteínas, foi descrito em 1959, na publicação “*Gènes de structure et gènes de régulation dans la biosynthèse des protéines*” na revista científica francesa *Comptes Rendus*

⁴³ No original: “Alex’s philosophy was simple, but one often forsaken in modern science: Only scientific knowledge and the ability to envision new directions in research are meritorious, and the success of the individual depends on the teamwork of many. At his institution, one of the best known in the world dedicated to protein research, Alex created an intellectual hub, bringing together physicists, structural biologists, and biochemists. It was his strong belief that it is not past discovery, but the people and scientific culture that propel new directions in science. Alex and his team kept the fire of world-class science alive amid the blizzard of political and economic realities of the country that, until 1991, was the USSR” (Evdokimovaa; Svitkinb; Sonenberg, 2021, p. 1).

*Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*⁴⁴, pelos franceses: François Jacob (1920 – 2013) (figura 17, lado esquerdo), biólogo molecular, e Jacques Lucien Monod (1910 - 1976) (figura 17, lado direito), bioquímico (Jacob; Monod, 1959).

Figura 17 – François Jacob (1920 – 2013); Jacques Monod (1910 - 1976)



Fonte: Esquerda: Morange (2013); direita: Nobel Lectures (1972)
CC BY-NC-SA 4.0

François Jacob nasceu em Nancy, França. Na capital francesa, Paris, iniciou seus estudos em Medicina no *Liceu Carnot* visando um dia tornar-se cirurgião. Em 1940, não aceitou a rendição da França à Alemanha, e uniu-se às Forças Francesas Livres:

Jacob lutou por quatro anos como auxiliar médico na África e na França. Quando a guerra terminou, foi nomeado Companheiro da Libertação, a mais alta distinção militar francesa da Segunda Guerra Mundial. Mais de seis décadas depois, tornou-se Chanceler da Ordem da Libertação, a figura mais importante da ordem. Após a guerra, os ferimentos que Jacob sofreu nos braços e pernas em 1944 o impediram de se tornar cirurgião, e ele trabalhou na produção de antibióticos para o exército francês. Ele ouviu falar de uma revolução científica em curso, resultante da união da física com a genética e a microbiologia (Morange, 2013, p. 440, tradução nossa)⁴⁵.

⁴⁴ No português: “Genes estruturais e genes reguladores na biossíntese de proteínas” nos “Relatórios semanais das sessões da Academia de Ciências”, criado em 1835 com a intenção de divulgar as pesquisas internacionalmente. Disponível em: <https://comptes-rendus.academie-sciences.fr>. Acesso em: 28 mar. 2025.

⁴⁵ No original: “Jacob fought for four years as a medical auxiliary in Africa and France. When the war ended, he was named a Companion of the Liberation, the highest French military distinction of the Second World War. More than six decades later, he became Chancellor of the Order of the Liberation, the order’s most important figure. After the war, the injuries that Jacob had sustained to his arms and legs in 1944 prevented him from becoming a surgeon and he worked on producing antibiotics for the French army. He heard about a scientific revolution taking place as a result of physics coming together with genetics and microbiology” (Morange, 2013, p. 440).

De acordo com a coletânea do *Nobel Lectures* (1972), Jacques Monod (figura 17, lado direito) despertou um interesse por Biologia através de seu pai, que costumava ler os trabalhos de Charles Robert Darwin (1809 – 1882). Em 1931 formou-se em Ciências e em 1941 tornou-se doutor em Ciências Naturais, atuando como professor por muitos anos.

Outra confirmação do papel do mRNA veio com a publicação de 1961, “*Factors determining the specificity of hemoglobin synthesized in a cell free system*” no *Journal of Molecular Biology*⁴⁶, da bióloga molecular e bioquímica alemã Hildegard Lamfrom (1922 - 1984) (figura 18).

Figura 18 – Hildegard Lamfrom (1922 - 1984)



Fonte: Reed Magazine (s.d.)
CC BY-NC-SA 4.0

A pesquisa tinha como principal objetivo determinar como é obtida a especificidade na síntese de hemoglobina (Lamfrom, 1961), sucedendo um trabalho prévio ao lado da bioquímica Esther Allen e do professor Richard Schweet (1919 - 1967), em que visavam a síntese da hemoglobina usando de reticulócitos — hemácias imaturas — para facilitar o isolamento do mRNA (Schweet; Lamfrom; Allen, 1958).

⁴⁶ No português: “Fatores que determinam a especificidade da hemoglobina sintetizada em um sistema livre de células” no “Jornal de Biologia Molecular”, em funcionamento desde 1959, aceitando todas as áreas da Biologia Molecular. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-molecular-biology>. Acesso em: 28 mar. 2025.

A hemoglobina correspondente ao tipo microssomal será sintetizada pelo M-RNA que permaneceu associado aos microssomos durante o procedimento de isolamento; a hemoglobina do tipo sobrenadante será sintetizada pelo novo M-RNA fornecido por esta fração celular (Lamfrom, 1961, p. 251, tradução nossa)⁴⁷.

Hildegard Lamfrom nasceu na Alemanha e em 1938, imigrou com seus pais para os EUA, em Oregon. Em 1949, tornou-se doutora trabalhando o laboratório do estadunidense Harry Goldblatt (1891 - 1977). Todavia, sua pesquisa acerca da Biologia Molecular iniciou no laboratório do professor de Bioquímica, Henry Borsook (1897 - 1984) (Abelson, 1984).

Hildegard continuou seu trabalho sobre síntese de proteínas no Laboratório de Biologia Molecular do MRC [*Medical Research Council*, Conselho de Pesquisa Médica] em Cambridge (1962-1965), no laboratório de Francis Crick e Sydney Brenner, e no Instituto de Biologia, Físico-Química em Paris (1965-1967). A partir de 1967, colaborou com seu amigo próximo Anand Sarabhai, primeiro no Instituto de Biologia Molecular em Eugene, Oregon (1967-1970), e depois no Departamento de Química da UCSD [*University of California San Diego*, Universidade da Califórnia, São Diego], onde nós três colaboramos em problemas de síntese de tRNA. Na década de 1970, Hildegard e Anand passaram longos períodos na Índia, onde fundaram o Biocenter, um laboratório em Ahmedabad (Abelson, 1984, s.p., tradução nossa)⁴⁸.

Por seus resultados, a pesquisadora Lamfrom, pensando no **Coletivo** afirmou que esses reforçavam o conceito de RNA mensageiro proposto por Jacob e Monod, e que mais experimentos deveriam comprovar a validade (Lamfrom, 1961).

4.1.5.2 Isolamento do mRNA (1961)

Em 1961 ocorreu, juntamente, a publicação do isolamento do mRNA. Duas equipes, a do biólogo francês François Gros (1925 - 2022) (figura 19, lado direito) com “*Unstable ribonucleic acid revealed by pulse labelling of Escherichia coli*”⁴⁹ para a *Nature* (Gros et al., 1961); e a equipe de um integrante do Clube da Gravata RNA, o

⁴⁷ No original: “The hemoglobin corresponding to the microsomal type will be synthesized by M-RNA which remained associated with the microsomes during the isolation procedure; the hemoglobin of the supernatant type will be synthesized by new M-RNA supplied by this cell fraction” (Lamfrom, 1961, p. 251).

⁴⁸ No original: “Hildegard continued with her work on protein synthesis at the MRC Laboratory of Molecular Biology in Cambridge (1962-1965) in the laboratory of Francis Crick and Sydney Brenner, and at the Institut de Biologie Physico-Chimique in Paris (1965-1967). From 1967 on, she collaborated with her close friend Anand Sarabhai, first at the Institute of Molecular Biology in Eugene, Oregon (1967-1970) and then in the Department of Chemistry at UCSD where the three of us collaborated on problems of tRNA synthesis.” In the 1970's, Hildegard and Anand spent long periods of time in India where they established Biocenter, a laboratory in Ahmedabad” (Abelson, 1984, s.p.).

⁴⁹ No português: “Ácido ribonucleico instável revelado pela marcação por pulso de *Escherichia coli*”; sendo as *Escherichia coli* bactérias gram-negativas de forma bacilar, bastonetes.

biólogo sul-africano Sydney Brenner (1927 - 2019) (figura 19, lado esquerdo), também para a *Nature*, com o artigo científico “*Unstable intermediate carrying information from genes to ribosomes for protein synthesis*”⁵⁰ (Brenner; Jacob; Meselson, 1961).

Figura 19 – François Gros (1925 - 2022) e Sydney Brenner (1927 - 2019)



Fonte: Esquerda: Institut Pasteur/Archives (2022); direita: LMB News (2019)
CC BY-NC-SA 4.0

François Gros nasceu em Paris, em uma família judia. Poucos dias antes do êxodo de 1940, fugiu da capital francesa para Brive (comuna francesa). Gros tinha uma grande paixão pela Filosofia, sendo seu sonho atuar no ensino, todavia, segundo recomendações de seu pai e sendo forçado a sair de Brive, foi à universidade cursar Medicina. Foi quando retornou à Paris, que pode finalizar seus estudos, e completar seu sonho de cursar Filosofia; juntamente, ingressou no Instituto Pasteur no Departamento de Bioquímica em 1946, onde trabalhou ao lado de Jacques Monod e atuou com os mecanismos de ação de antibióticos. Aconselhado por Jacques Monod, realizou seu pós-doutorado nos EUA em 1960 (*La rédaction de l'INA*, 2022; Petit; Kourilsky, 2023). Foi lá que conheceu Sydney Brenner:

⁵⁰ No português: “Intermediário instável que transporta informações dos genes para os ribossomos para a síntese de proteínas”.

Sydney Brenner e François Jacob se encontram no Instituto de Tecnologia da Califórnia, Caltech, em Pasadena, no escritório de Matthew Meselson. Graças à experiência bioquímica de Matthew Meselson, eles desenvolvem juntos os protocolos para os experimentos que devem permitir identificar o mRNA (Petit; Kourilsky, 2023, p. 4, tradução nossa)⁵¹.

Sydney Brenner, biólogo nascido em Germiston, África do Sul, fez sua pós-graduação na Universidade de Oxford, Reino Unido. Era extremamente entusiasmado com o universo dos genes, que tornou-se um dos principais proponentes do Projeto Genoma Humano — projeto de pesquisa internacional que objetivava sequenciar e mapear todos os genes do genoma humano. Durante o verão de 1954, quando já estava com o título de doutor, foi ao EUA conhecer diferentes laboratórios, inclusive *Cold Spring Harbor*, onde conheceu Watson e Crick (Friedberg, 2019). Inclusive, Brenner teria sido o primeiro a visualizar a proposta de estrutura helicoidal do DNA de Watson e Crick (LMB News, 2019).

Embora formando duas equipes, ambos compartilhavam do mesmo **Estilo de Pensamento** para com o desenvolvimento e comprovação do mRNA. A ampla rede de contatos permitiu que ambos tivessem mais reconhecimentos pelos experimentos realizados.

Francis Crick terá ficado tão impressionado com Brenner, que o recrutou para a Universidade de Cambridge, no Reino Unido, em 1956, onde iniciaram pesquisas associadas aos genes. A “parceria intelectual” durou até meado de 1960, quando Sydney começou a se dedicar inteiramente às pesquisas associadas ao verme nematódeo *Caenorhabditis elegans* no *Laboratory of Molecular Biology* (LMB) — laboratório de Biologia Molecular em Cambridge — no qual atuou como diretor por muitos anos (Friedberg, 2019). Todavia, a amizade entre Sydney e Crick permaneceu (figura 20).

⁵¹ No original: “Sydney Brenner et François Jacob se retrouvent à l’Institut de technologie de Californie, Caltech, à Pasadena, dans les locaux de Matthew Meselson. Grâce à l’expertise biochimique de Matthew Meselson, ensemble, ils élaborent les protocoles des expériences qui devraient permettre d’identifier l’ARNm” (Petit; Kourilsky, 2023, p. 4).

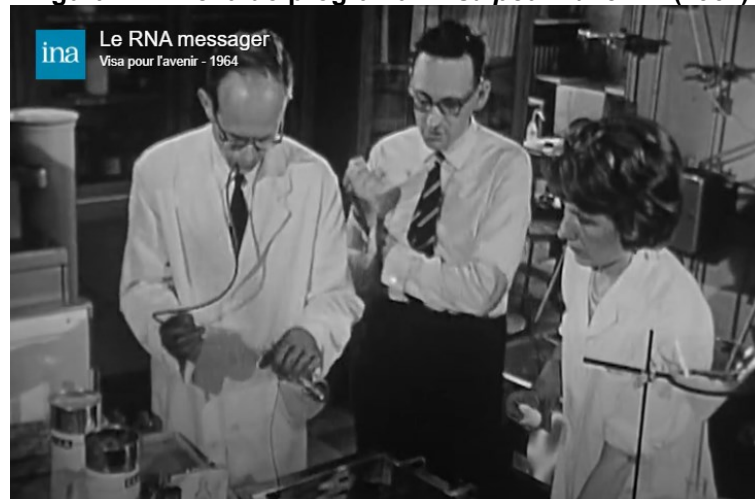
Figura 20 – Sydney com Francis Crick, assinando o quadro no LMB



Fonte: LMB News (2019)
CC BY-NC-SA 4.0

Nos arquivos do *Institut national de l'audiovisuel* (INA)⁵², há um vídeo, gravado em 1964 para o programa "*Visa pour l'avenir*" — documentário televisivo francês, "Visto para o futuro" — no qual François Jacob reproduz, com auxílio de dois cientistas não apresentados, as principais etapas que possibilitaram o trabalho com o mRNA (figura 21).

Figura 21 – Cena do programa "*Visa pour l'avenir*" (1964)



Fonte: La rédaction de l'INA (2022)
CC BY-NC-SA 4.0

Na finalização do vídeo, Jacques Monod, em frente a um quadro, aborda sobre os avanços científicos da época, associando com o campo da hereditariedade (La rédaction de l'INA, 2022).

⁵² No português: Instituto Nacional de audiovisual.

4.2 O nascer do “Mundo de RNA”

4.2.1 Primeiro Simpósio Internacional sobre a Origem da Vida (1957 - 1959)

Em agosto de 1957, em Moscou, Rússia, ocorreu o “Primeiro Simpósio Internacional sobre a Origem da Vida”. O evento foi convocado pelo biólogo russo Aleksandr Ivanovich Oparin (1894 - 1980) (figura 22) — conhecido por suas pesquisas acerca da origem da vida e seu livro sobre o assunto, publicado na Rússia em 1924 e levado aos EUA em versão inglesa em 1938⁵³ — e pela Academia Soviética de Ciências. Os Anais do evento, chamados de “A Origem da Vida na Terra”, saíram dois anos depois em versão inglesa (Oparin *et al.*, 1959).

Figura 22 – Aleksandr Ivanovich Oparin (1894 - 1980)



**Fonte: Centro Federal de Pesquisa "Fundamentos da Biotecnologia"
da Academia Russa de Ciências (2019)
CC BY-NC-SA 4.0**

Aleksandr Oparin nasceu em Uglitch, Rússia. Com um grande amor por Ciências, em 1917, formou-se no Departamento de Ciências Naturais da faculdade de Física e Matemática da Universidade de Moscou, onde permaneceu para estudar e

⁵³ OPARIN, Aleksandr Ivanovich. Proiskhozhdenie zhizni. Moscou: Izd. Moskovskii Rabochii, 1924.
E OPARIN, Aleksandr Ivanovich. The Origin of Life. 1. ed. Nova Iorque: Macmillan, 1938.

ganhar título de professor. De acordo com o Centro Federal de Pesquisa "Fundamentos da Biotecnologia" da Academia Russa de Ciências (2019), Oparin foi um acadêmico da Academia de Ciências da URSS, sendo considerado como "Herói do Trabalho Socialista" por muitos. Atuou como diretor do Instituto de Ciências Biológicas da Academia Russa de Ciências, durante os anos de 1946 a 1980.

Ерохина (2022) indica que os estudos de Oparin acerca do desenvolvimento evolutivo da vida, assim como os princípios básicos de sua origem na Terra, vieram de seus estudos químicos. Aleksandr teria apresentado publicamente sua hipótese da origem da vida durante uma reunião da filial da Sociedade Botânica Russa em 1922. E em 1924, com um título ousado de "A Origem da Vida", publicou sua monografia em forma de um livro. A teoria de Oparin "abriu portas" para demais pesquisas relacionadas à origem da vida, envolvendo inúmeros estudos por cientistas de uma ampla gama de disciplinas: químicos, astrônomos, bioquímicos, físicos, paleontólogos e geólogos. A autora salienta que, no início do século XX, a origem da vida possuía um problema: era considerado, totalmente pertencente ao "reino" da religião e da Filosofia, sendo insolúvel pelos métodos das Ciências Naturais, no sentido que seria inviável uma abordagem experimental.

De acordo com a teoria da evolução bioquímica de Oparin, a síntese de todos os componentes necessários para a origem da vida poderia ter ocorrido nas condições da atmosfera primária da Terra, que eram significativamente diferentes das atuais. O acúmulo de grandes quantidades de matéria orgânica no oceano pode ter criado uma "sopa primordial" para o desenvolvimento da vida. Eis a cadeia: primeiro, antes mesmo do surgimento da vida, surgiram os compostos orgânicos, surgiram as proteínas (a partir delas foram formados heterótrofos, que se alimentavam desses compostos) e só então, graças à evolução, surgiram organismos mais complexos, capazes de construir compostos orgânicos a partir de elementos químicos dentro de si - surgiram os corpos proteicos (Ерохина, 2022, s.p., tradução nossa)⁵⁴.

Oparin *et al.* (1959), na coletânea de trabalhos do "Primeiro Simpósio Internacional sobre a Origem da Vida", afirma no prefácio que a questão da origem da vida é um dos problemas fundamentais da Ciência, todavia, essa questão teria tomado

⁵⁴ No original: "По теории биохимической эволюции Опарина синтез всех необходимых для зарождения жизни компонентов мог произойти в условиях первичной атмосферы Земли, значительно отличающихся от нынешних. Накопление в океане большого количества органики могло создать «первичный бульон» для развития жизни. Вот цепочка: сначала, еще до возникновения жизни, появились органические соединения, произошло возникновение белков (из них образовались гетеротрофы, которые этими соединениями питались), а уж потом, благодаря эволюции, появились более сложные организмы, способные сами в себе строить из химических элементов органические соединения - произошло возникновение белковых тел" (Ерохина, 2022, s.p.).

um lugar insignificante na literatura científica. Foi apenas nos últimos anos — relativo à década de 1950, e consideravelmente pela influência do próprio Oparin — que o tema ressurgiu para diálogo com cientistas de demasiadas áreas e lugares no mundo. Foi pensando nisso, que em 1955, durante reunião em Bruxelas (Bélgica), a Assembleia Geral da União Internacional de Bioquímica propôs a convocação de um Simpósio Internacional que abordasse sobre a origem da vida. É evidente que a influência de Oparin trouxe o evento a ocorrer na União Soviética, desta forma, a Academia de Ciências da URSS organizou, em agosto de 1957 em Moscou, o primeiro simpósio dedicado à origem da vida na Terra.

Nesta coletânea de trabalhos, há diversas teorias que contornam o que poderia ser a molécula primordial. O bioquímico e virologista estadunidense Wendell Meredith Stanley (1904 – 1971) em seu trabalho “*On the Nature of Viruses, Genes and Life*”⁵⁵, indicou que os vírus, os genes e a vida estariam interligados por uma série de relacionamentos, havendo um “fio condutor comum” que permearia esses relacionamentos (Stanley, 1959), afirmou que, na época, havia evidências de que o material genético dos vírus bacterianos seria o DNA:

No entanto, até recentemente, nenhum gene ou cromossomo ou qualquer um dos vírus comuns tinha sido isolado como tal na forma de ácido nucleico, portanto, o “material da vida”, assim como os vírus, tem sido considerado como uma nucleoproteína na natureza com uma considerável dúvida quanto a se a proteína ou o ácido nucleico ou a combinação dos dois era realmente a estrutura biologicamente ativa (Stanley, 1959, p. 319, tradução nossa)⁵⁶.

O virologista e bioquímico Heinz Ludwig Fraenkel-Conrat (1910 – 1999), nascido em Breslau, Império Alemão (atualmente Wrocław, Polônia), juntamente à Breahe Singer em “*The Infective Nucleic Acid from Tobacco Mosaic Virus*”⁵⁷, indicaram que o ácido nucleico dos vírus poderia ser relativamente mais próximo em estrutura e natureza de algumas moléculas polinucleotídicas primordiais (Fraenkel-Conrat; Singer, 1959), complementando que:

⁵⁵ No português: “Sobre a natureza dos vírus, genes e vida” que em nota, afirma ser uma adaptação de uma palestra realizada em 25 de abril de 1957, para a Sociedade Filosófica Americana, na Filadélfia, Pensilvânia, EUA.

⁵⁶ No original: “However, until recently no gene or chromosome or any of the ordinary viruses had been isolated as such in the form of nucleic acid, hence the ‘stuff of life’, as well as the viruses, has been considered to be nucleoprotein in nature with considerable doubt as to whether the protein or the nucleic acid or the combination of the two was really the biologically active structure” (Stanley, 1959, p. 319).

⁵⁷ No português: “O ácido nucleico infeccioso do vírus do mosaico do tabaco”.

[...] se quisermos assumir que os processos mais fundamentais da vida sempre se basearam nos mesmos mecanismos principais, então o que aprendemos sobre a relação entre estrutura e função em ácidos nucleicos virais ou outros ácidos nucleicos geneticamente ativos também deve contribuir para a nossa compreensão incipiente das possíveis origens da vida (Fraenkel-Conrat; Singer, 1959, p. 303 - 304, tradução nossa)⁵⁸.

No trabalho intitulado “*Les Acides Nucléiques et l'Origine des Protéines*”⁵⁹, o professor e bioquímico belga Jean Louis Auguste Brachet (1909 – 1988) fez a indagação de quem veio primeiro, o RNA ou as proteínas?, comparando-a questão do ovo e a galinha. Para Brachet (1959), se assumirmos o RNA formou-se espontaneamente — por uma polimerização não enzimática — o mesmo poderia ser aplicado às proteínas, obviamente. Segue afirmando que a complexidade do ácido nucleico e, especialmente, a maior resistência ao calor, faria da molécula uma melhor sobrevivente do mundo primitivo, “[...] talvez o fato de a ribonuclease ser uma enzima particularmente termoestável e de composição simples signifique que o metabolismo do RNA é mais antigo do que muitos outros na evolução bioquímica dos seres vivos” (Brachet, 1959, p. 367, tradução nossa)⁶⁰.

Brachet (1959) finaliza indicando que a resposta virá na reunião das ideias de demais pesquisadores, de diferentes áreas. Fortalece, ainda, a sugestão de esclarecer essa questão na próxima edição do evento.

O russo Andrey Belozersky, mencionado previamente por seu trabalho que teria evidenciado a existência do mRNA, estabelece uma afirmação quanto aos ribonucleotídeos e consequentemente, a molécula de RNA, como primordial no surgimento da vida, descrevendo:

⁵⁸ No original: “[...] if we wish to assume that the most fundamental processes of life have always relied on the same principle mechanisms, then what we learn about the relationship of structure and function in viral or other genetically active nucleic acids should also contribute to our incipient understanding of the possible origins of life (Fraenkel-Conrat; Singer, 1959, p. 303 - 304).

⁵⁹ No português: “Ácidos Nucleicos e a Origem das Proteínas”.

⁶⁰ No original: “[...] peut-être le fait que la ribonucléase est un enzyme particulièrement thermostable et de composition simple signifie-t-il que le métabolisme de l'ARN est plus ancien que beaucoup d'autres dans l'évolution biochimique des êtres vivants” (Brachet, 1959, p. 367).

Não há sombra de dúvida sobre o fato de que os ácidos nucleicos desempenharam um papel significativo na evolução do mundo orgânico. No entanto, é duvidoso que tanto o RNA quanto o DNA tenham surgido simultaneamente nos estágios iniciais do desenvolvimento da vida. O autor da presente comunicação está inclinado a pensar que o aparecimento dos ribonucleotídeos, seguido pelo RNA, foi primário. O DNA apareceu muito mais tarde, paralelamente às funções mais complicadas e uma diferenciação cada vez maior do protoplasma (Belozersky, 1959, p. 329 – 330, tradução nossa)⁶¹.

Belozersky (1959) argumenta essa ideia relativa ao RNA com as considerações de que: enquanto o que DNA estaria localizado unicamente no núcleo da célula, o RNA estaria em todos os elementos morfológicos do chamado protoplasma; quando o nível de RNA atinge um valor específico que o crescimento e a reprodução alavancam, vide exemplo, a célula bacteriana, que entra na fase logarítmica de crescimento quando o RNA atinge um nível fixo; supostamente o RNA aparentaria ser privado de funções genéticas, como exemplo, esse ser responsável pela reprodução dos vírus. E por fim, Belozersky menciona que os ribonucleotídeos estão em diferentes fases do metabolismo.

Considerando o direcionamento proposto por Belozersky, estabelece aqui o ponto do **Acoplamento Ativo** do Mundo de RNA, na qual o personagem chave, o RNA, é indicado como o primordial da vida.

4.2.2 Primeira formulação oficial da hipótese Mundo de RNA (1962)

Para a maioria dos cientistas voltados ao universo bioquímico de 1940-1960, era evidente que as macromoléculas proteicas possuíam as características específicas — além de estarem presentes em todos os sistemas vivos — necessárias para o funcionamento dos organismos vivos. Ou seja, o embasamento para a proteína ser o ponto inicial da vida no mundo fundamenta-se na necessidade desta para a existência de vida (Rich, 1962).

Para o biólogo estadunidense Alexander Rich (1924 – 2015) (comentado previamente na estrutura do tRNA e pertencente ao Clube da Gravata) a ideia da proteína como base desconsidera o sistema de síntese de enzimas proteicas, visto

⁶¹ No original: “There is no shadow of doubt about the fact that the nucleic acids played a significant part in the evolution of the organic world. However, it is doubtful that both RNA and DNA appeared simultaneously at the early stages of the development of life. The author of the present communication is inclined to think that the appearance of the ribonucleotides, followed by RNA, was primary. The DNA appeared much later, parallel with more complicated functions and an ever-increasing differentiation of protoplasm” (Belozersky, 1959, p. 329 – 330).

que o mesmo utiliza das informações presentes no ácido nucleico, e as proteínas não podem ser construídas através de uma polimerização aleatória de resíduos de aminoácidos (Rich, 1962). Ponderando sobre isso, foi considerado que:

O próximo passo é o desenvolvimento de ácidos nucleicos replicantes. Postulamos que as cadeias polinucleotídicas primitivas são capazes de agir como um molde ou como um catalisador um tanto ineficiente para promover a polimerização dos resíduos nucleotídicos complementares para construir uma molécula inicial de duas fitas (Rich, 1962, p. 114, tradução nossa)⁶².

Assim, a molécula de RNA seria a “perfeita alternativa”, considerando sua única fita, para formar o chamado Mundo de RNA, e dando à Rich os créditos da hipótese inicial, através do capítulo de livro “*On the problems of evolution and biochemical information transfer*”⁶³ de 1962.

4.2.3 Woese e seu papel na hipótese (1967 - 2005)

O estadunidense professor e microbiologista Carl Richard Woese (1928 – 2012) (figura 23) é comumente creditado pela criação da hipótese do Mundo de RNA, por seu livro “*The Genetic Code: The Molecular Basis for Genetic Expression*”⁶⁴, publicado pela editora Harper & Row na língua inglesa, em 1967, mencionando os trabalhos de Gamow, cinco anos após a publicação de Rich.

Carl Woese nasceu em Nova Iorque, foi graduado em Física e Matemática na *Amherst College* e doutorado em Biofísica pela Universidade de Yale, em 1953. O principal trabalho de Woese foi a demonstração de que os organismos vivos seriam divididos em três domínios: *Bacteria*, *Eukarya* e *Archaea* — sendo esse último definido através da análise do RNA ribossômico. “A princípio, a descoberta das *Archaea* por Woese foi recebida com ceticismo e até hostilidade. Isso, combinado com a visão de Woese de si mesmo como um forasteiro rebelde, resultou em um estilo de escrita frequentemente polêmico” (Noller, 2013, p. 610, tradução nossa)⁶⁵.

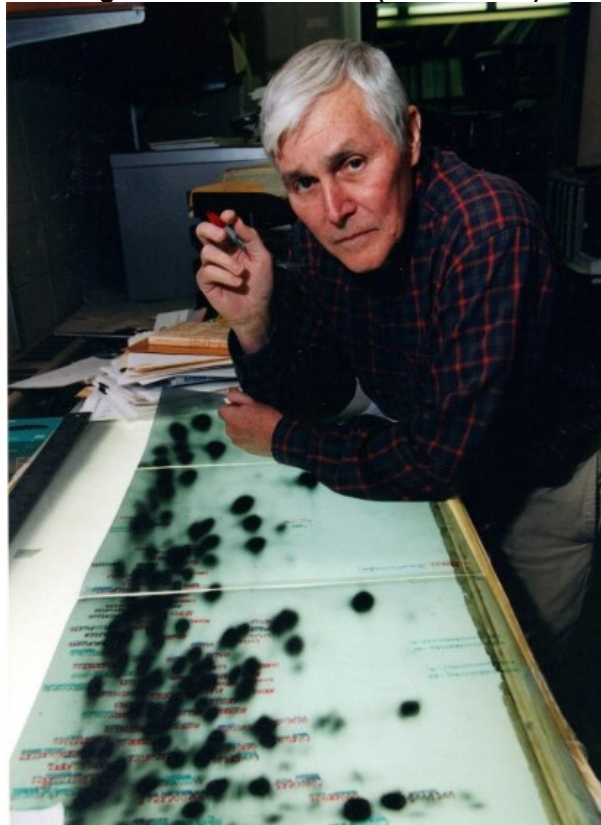
⁶² No original: “*The next step is the development of replicating nucleic acids. We postulate that the primitive polynucleotide chains are able to act as a template or as a somewhat inefficient catalyst for promoting the polymerization of the complementary nucleotide residues to build up an initial two-stranded molecule*” (Rich, 1962, p. 114).

⁶³ No português: Sobre os problemas da evolução e da transferência de informação bioquímica.

⁶⁴ No português: “O Código Genético: A Base Molecular para a Expressão Genética”.

⁶⁵ No original: “*At first, Woese’s discovery of the Archaea was met with scepticism and even hostility. This, combined with Woese’s view of himself as a rebellious outsider, resulted in an often polemical writing style*” (Noller, 2013, p. 610).

Figura 23 – Carl Woese (1928 – 2012)



Fonte: Galeria do Carl R. Woese *Institute for Genomic Biology* (s.d.)
CC BY-NC-SA 4.0

Carl aprofundou seus trabalhos associados aos diferentes RNAs, relacionando às demais pesquisas sobre a origem dessas macromoléculas. Woese (1967) acreditava que um dos pontos da ancestralidade do RNA estava em sua forma de RNA transportador, o tRNA:

[...] tRNA pode ser de ancestralidade muito antiga. Digo isso em grande parte porque o tRNA que encontramos hoje é uma molécula tão estranha, um tipo de desajuste molecular. Com seu alto teor de bases metiladas, geometria molecular aparentemente complicada e assim por diante, o tRNA se assemelha mais a uma proteína do que a um RNA. Além disso, não há razão *a priori* para supor que uma proteína não poderia ser projetada para cumprir o papel do tRNA no processo de tradução como o entendemos agora (Woese, 1967, p. 190, tradução nossa)⁶⁶.

⁶⁶ No original: “[...] *tRNA might be of very ancient ancestry. I say this largely because the tRNA that we find today is such an odd molecule, a kind of molecular misfit. With its high content of methylated bases, seemingly complicated molecular geometry, and so forth, tRNA resembles a protein more than an RNA. Further, there is no reason a priori to assume that a protein could not be designed to fulfill tRNA’s role in the translation process as we now understand it*” (Woese, 1967, p. 190).

Francis Crick também mencionou o mesmo caso considerando a estrutura do tRNA em 1966, em “*The Genetic Code - Yesterday, Today, and Tomorrow*” na *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*⁶⁷:

Qualquer que seja a estrutura do tRNA, é improvável que seja muito simples. Quase parece que o tRNA foi uma tentativa da Natureza de fazer uma molécula de RNA desempenhar o papel de uma proteína. Visto dessa forma, as muitas bases incomuns que o tRNA contém fazem muito sentido. Pode ser muito difícil estabilizar uma molécula intrincadamente dobrada usando apenas as quatro bases padrão, que é tudo o que pode ser incorporado pelo processo normal de replicação (Crick, 1966, p. 7, tradução nossa)⁶⁸.

Carl Woese (1967) segue correlacionando que o mesmo poderia ser aplicado aos protorribossomos — “ninho” de RNA que poderia polimerizar aminoácidos; também chamado de fóssil molecular dos ribossomos — visto que os complexos de RNA e proteína seriam um componente provável para o ambiente primitivo, sendo necessário, nesses estágios iniciais, um mecanismo que possibilitasse a leitura de fitas de mRNA.

Para a relação entre o código genético e interações anticódon-aminoácido, colocando o tRNA em um papel importante, Leslie Orgel (1968) descreve uma série de hipóteses que consideram as características e a suposta atuação desse com a formação de demais moléculas em sua publicação: “*Evolution of the Genetic Apparatus*” para o *Journal of Molecular Biology*⁶⁹:

Primeiro, os anticódons são muito curtos para ter estruturas secundárias bem definidas. Não parece provável que a discriminação sistemática entre aminoácidos possa ser alcançada por complexação com trinucleotídeos. Segundo, os aminoácidos ligados aos trinucleotídeos seriam mantidos bem separados no espaço por um molde polinucleotídico. Parece improvável que eles pudessem se condensar juntos de forma eficiente. Essas objeções não são conclusivas [...] (Orgel, 1968, p. 329, tradução nossa)⁷⁰.

⁶⁷ No português: “O Código Genético - Ontem, Hoje e Amanhã” nos Simpósios de Cold Spring Harbor sobre Biologia Quantitativa.

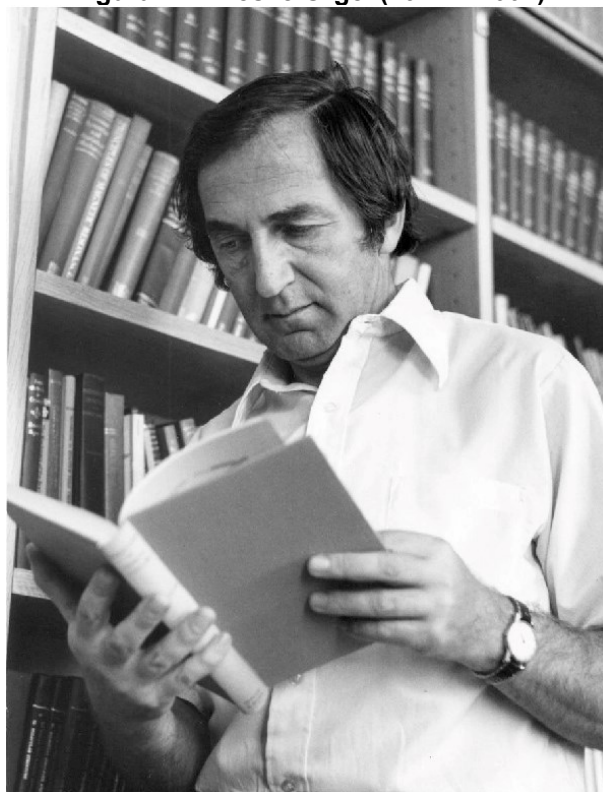
⁶⁸ No original: “*Whatever the structure of tRNA may be, it is unlikely to be a very simple one. It almost appears as if tRNA were Nature's attempt to make an RNA molecule play the role of a protein. Looked at in this way, the many unusual bases that tRNA contains make good sense. It may be very difficult to stabilize an intricately folded molecule using only the four standard bases, which is all that can be incorporated by the normal replication process*” (Crick, 1966, p. 7).

⁶⁹ No português: “Evolução do Aparelho Genético” para o Periódico de Biologia Molecular.

⁷⁰ No original: “*First, the anticodons are too short to have well-defined secondary structures. It does not seem likely that systematic discrimination between amino acids could be achieved by complexing with trinucleotides. Second, the amino acids attached to trinucleotides would be held far apart in space by a polynucleotide template. It seems unlikely that they could condense together efficiently. These objections are not conclusive [...]*” (Orgel, 1968, p. 329).

Leslie Eleazer Orgel (1927 – 2007) (figura 24), foi citado previamente como um inglês químico que, não só fez parte do Clube da Gravata RNA, como também estava envolvido na criação, propondo a ideia da gravata. Orgel formou-se na Universidade de Oxford, em Química Inorgânica; sua pós-graduação foi na Universidade de Chicago e no *Caltech*, onde afirma que, ao invés de passar tempo com Linus Pauling, acabou tendo uma relação mais próxima com Max Delbrück, James Watson e, o citado como criador do Mundo de RNA, Alexander Rich. Por suas pesquisas acerca do assunto, o jornal *Los Angeles Times* denomina Orgel como o “pai” da teoria de origem da vida Mundo de RNA (Chong; Maugh II, 2007).

Figura 24 – Leslie Orgel (1927 – 2007)

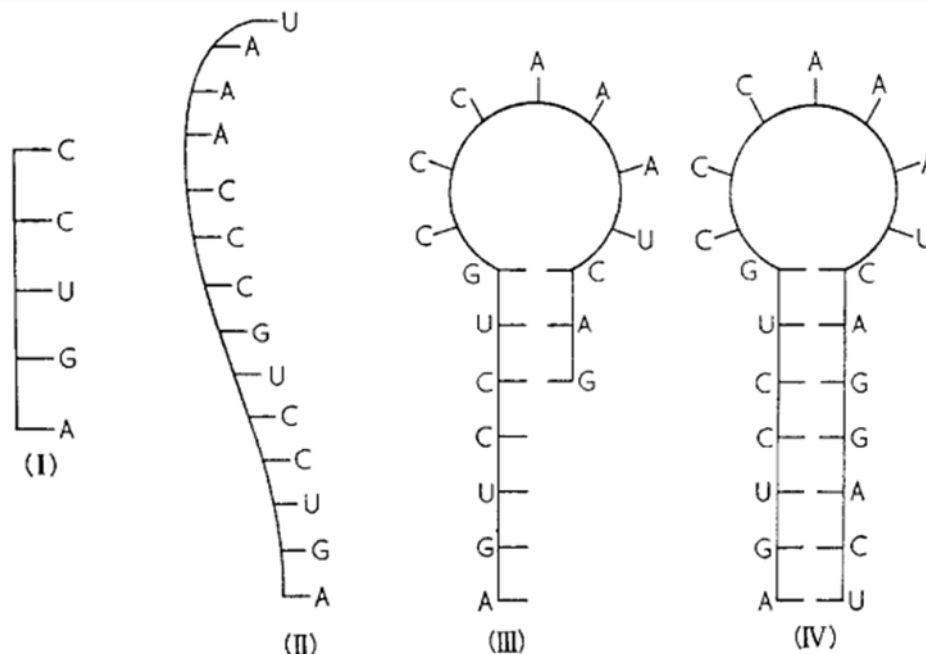


Fonte: Dunitz; Joyce (2013)
CC BY-NC-SA 4.0

A relação com o tRNA fomentaria o **Acoplamento Passivo** do Mundo de RNA. Orgel (1968) afirmou que, caso fosse possível a síntese eficaz de polinucleotídeos, seríamos capazes de compreender se os *loops* — como apresentados nos tRNA — podem ser formados pela copolimerização aleatória. Confirmando assim, a possibilidade de uma cadeia polinucleotídica dobrar sobre si mesma: “O estudo de variantes de *loops* de anticódon pode colocar alguns limites nos tipos de tRNA primitivo que precisam ser considerados” (Orgel, 1968, p. 393, tradução

nossa)⁷¹. Na figura 25, Orgel (1968) organiza a formação de um loop de RNA, em que: (I) início da polimerização, (II) extensão da cadeia, (III) primeiro aparecimento da região de autopareamento, (IV) conclusão da região de dupla hélice.

Figura 25 – Formação de um loop de RNA



Fonte: Orgel (1968, p. 392)

Com o objetivo de explicar como os principais tipos de células teriam evoluído por um estado ancestral no Mundo de RNA, Woese discernia sobre a análise genômica, como em seu capítulo em “*Microbial Phylogeny and Evolution: Concepts and Controversies*”⁷² (2005) em que reforçou:

Na minha opinião, uma reformulação total do problema da evolução celular é necessária, e eu gostaria de oferecer dois princípios que eu sinto que devem ser aplicados: (1) Todos os principais designs de células existentes evoluíram de forma semelhante e relacionada; todos refletem a mesma dinâmica evolutiva subjacente, embora cada um seja claramente altamente único. (2) Um design de célula (madura) é evolutivamente homeostático e homeorético: se evolutivamente perturbado, esse design tende a restabelecer o mesmo tipo geral de design, mas sob nenhuma circunstância pode se reformar como um tipo basicamente novo de design (Woese, 2005, p. 103, tradução nossa)⁷³.

⁷¹ No original: “The study of variants of anticodon loops may place some limits on the types of primitive tRNA that need to be considered” (Orgel, 1968, p. 393).

⁷² No português: “Filogenia e evolução microbiana: conceitos e controvérsias: conceitos e controvérsias”.

⁷³ No original: “In my opinion, a total rethinking of the problem of cellular evolution is called for, and I would like to offer two tenets that I feel should apply: (1) All of the extant major cell designs evolved in a similar and related fashion; all reflect the same underlying evolutionary dynamic, although each

Carl Woese visava pontuar a importância da transferência horizontal de genes — *Horizontal Gene Transfer* (HGT), passagem de informação genética entre genomas assexuadamente — para a evolução, envolvendo as aminoacil-tRNA sintetases: “o fato de que as aminoacil-tRNA sintetases são os únicos componentes principais do sistema de tradução a serem significativamente afetados pela HGT fornecerá uma visão fundamental do quebra-cabeça da evolução celular” (Woese, 2005, p. 105, tradução nossa)⁷⁴.

A menção à aminoacil-tRNA sintase retomava a outra publicação de Carl (2000), Gary J. Olsen, Michael Ibba e do professor de biofísica, bioquímica e química alemão Dieter Gerhard Söll (1935 -) denominada “*Aminoacyl-tRNA Synthetases, the genetic code, and the evolutionary process*” para a “*Microbiology and Molecular Biology Reviews*”⁷⁵ em que pontuava que a improbabilidade do papel desta enzima na evolução do código genético, todavia:

Longe de diminuir o significado evolutivo das aminoacil-tRNA sintetases, essa percepção, em certo sentido, o aumenta. A separação dos dois problemas permite que os biólogos vejam a evolução do código como o problema profundo que ele é e se concentrem no que as evoluções dessas sintetases nos dizem. Os genes da aminoacil-tRNA sintetases estão entre as moléculas funcionalmente importantes mais frequentemente trocadas na célula. No entanto, isso não diminui, mas aumenta, o valor dos AARSs [aminoacil-tRNA sintetases] como indicadores evolutivos (Woese *et al.*, 2000, p. 234, tradução nossa)⁷⁶.

Na finalização de seu capítulo, Woese (2005) descreve que, na natureza, a tradução é uma “máquina de RNA”, que se originou em um mundo antigo de RNA. Ao olhar para esse cenário, o mesmo poderia se aplicar à evolução celular:

clearly is highly unique. (2) A (mature) cell design is evolutionarily homeostatic and homeorhetic: If evolutionarily perturbed, that design tends to reestablish the same general design type, but under no circumstances can it reform as a basically new type of design” (Woese, 2005, p. 103).

⁷⁴ No original: “the fact that the aminoacyl-tRNA synthetases are the only major components of the translation system to be appreciably affected by HGT is going to provide a key insight into the puzzle of cellular evolution” (Woese, 2005, p. 105).

⁷⁵ Em português: “Aminoacil-tRNA Sintetases, o código genético e o processo evolutivo” para a “Microbiologia e Revisões de Biologia Molecular” revista científica que busca expandir o conhecimento sobre bactérias, fungos, parasitas, vírus e demais eucariotos superiores. Disponível em: <https://journals.asm.org/journal/membr/about>. Acesso em: 28 mar. 2025.

⁷⁶ No original: “Far from diminishing the evolutionary significance of the aminoacyl-tRNA synthetases, this realization, in a sense, enhances it. The separation of the two problems allows biologists to see the evolution of the code for the profound problem that it is and to focus on what the evolutions of these synthetases do tell us. Aminoacyl-tRNA synthetase genes are among the more frequently exchanged of the functionally important molecules in the cell. However, this does not diminish, but enhances, the value of the AARSs as evolutionary indicators” (Woese, 2000, p. 234).

[...] as células primitivas não começaram como agregados proteicos. Elas começaram gradualmente "proteinizando" as organizações biológicas preexistentes baseadas em ácido nucleico que povoavam e definiam o mundo do RNA. É importante ressaltar que a evolução celular começou de muitas, não uma ou algumas, plataformas iniciais distintas (Woese, 2005, p. 115, tradução nossa)⁷⁷.

Neste mundo primitivo, começaria o “comércio” de RNAs codificadores de proteínas, para qual associou ao HGT, “que inevitavelmente leva ao estabelecimento de um código genético universal [a “língua franca” do comércio genético], incluindo um mecanismo de decodificação universal” (Woese, 2005, p. 115, tradução nossa)⁷⁸.

O evento promovido por Oparin, o “Primeiro Simpósio Internacional sobre a Origem da Vida”, demonstrou como os **Círculos Esotéricos e Exotéricos** podem corroborar para a construção do Fato Científico. Cada cientista mencionado, que propôs (mesmo que indiretamente) o Mundo de RNA, trouxe consigo a carga de sua especialidade, uma visão diferenciada sobre o **Fato**.

Belozersky, dialogando com as propriedades do RNA, forneceu o conhecimento de **Acoplamento Ativo** do Mundo de RNA, sendo o RNA o ponto primordial da vida. Orgel forneceu o **Acoplamento Passivo**, com a relação do tRNA e sua estrutura tridimensional diferenciada.

4.2.4 Nascimento do termo (1986)

O estadunidense Walter Gilbert (1932 -), professor, bioquímico, físico e biólogo molecular, cunhou o termo “Mundo de RNA” em 1986, com o artigo “*Origin of life: The RNA world*”⁷⁹, publicado pela revista científica *Nature*. Walter menciona a relação de como a molécula de RNA se propagaria:

⁷⁷ No original: “[...] *primitive cells did not begin as proteinaceous aggregates. They started by gradually “proteinizing” the preexisting nucleic acid-based biological organizations that populated and defined the RNA world. Importantly, cellular evolution began from many, not one or a few, distinct starting platforms*” (Woese, 2005, p. 115).

⁷⁸ No original: “*begins a commerce in protein-coding RNAs (i.e., HGT, which inevitably leads to the establishment of a universal genetic code [the “lingua franca” of genetic commerce] including a universal decoding mechanism*)” (Woese, 2005, p. 115).

⁷⁹ No português: “Origem da vida: O mundo do RNA”.

No mundo de RNA, a estrutura que seria replicada tem o complemento total de íntrons. Algumas das filhas, ao emendar todos os seus íntrons, se converteriam em moléculas funcionais, as ribozimas. Um resquício desse processo pode ser a estrutura do RNA de transferência, onde uma estrutura secundária compacta é quebrada pela inserção de um íntron (Gilbert, 1986, p. 618, tradução nossa)⁸⁰.

Para Walter, seria classificado como o estágio inicial da evolução as atividades catalíticas das moléculas de RNA, montadas por uma “sopa” de nucleotídeos. Após sua publicação, o termo perdurou por todas as menções e pesquisas seguintes.

4.3 Análise de Conteúdo dos livros

Para a análise dos componentes da História Epistemológica da Ciência e da interpretação através da Epistemologia de Fleck, este tópico foi dividido entre análise dos livros didáticos e análise dos livros acadêmicos.

4.3.1 Análise dos livros didáticos

No quadro 6 há a relação do conteúdo de Mundo de RNA presente nos livros didáticos, assim como a nomeação do respectivo capítulo ou tema, considerando as obras e seus códigos presentes no quadro 2.

Quadro 6 – Local do conteúdo de Mundo de RNA nos livros didáticos

Código	Local do conteúdo	Nomeação
LD1	Tema 4 (p. 44)	A química da vida
	Tema 5 (p. 57)	Origem e evolução da vida na Terra
LD2	Não há	
LD3	Não há	
LD4	Capítulo 4 (p. 133)	Explicações para a origem da vida
LD5	Não há	
LD6	Capítulo 2 (p. 116)	A origem da vida
LD7	Tema 2 (p. 99)	Origem da vida na Terra

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota-se que dos sete livros consultados, apenas quatro apresentam o conteúdo, sendo que em LD1 aparece em dois momentos. LD1, apesar da ausência de fotografias dos cientistas e de seus experimentos, detalha a história associada ao

⁸⁰ No original: “In the RNA world, the structure that would be replicated has the full complement of introns. Some of the daughters, by splicing out all their introns, would convert to functional molecules the ribozymes. A remnant of this process may be the structure of transfer RNA, where a compact secondary structure is broken up by the insertion of an intron” (Gilbert, 1986, p. 618).

RNA, mencionando nomes, nacionalidades e a relação com a construção do saber para o Mundo de RNA:

Entre os estudos que investigam esse assunto, podem ser citados aqueles realizados **em 1966** pelo **químico inglês Leslie Orgel** (1927-2007) e sua equipe. Eles conseguiram sintetizar pequenas moléculas de RNA usando apenas nucleotídeos de RNA e argila do tipo montmorilonita como catalisador. Essa escolha foi **pautada na hipótese** de que na Terra primitiva deve ter existido argila e outros tipos de minerais em abundância, que podem ter atuado como catalisadores (Lopes; Rosso, 2020, p. 61, grifo nosso).

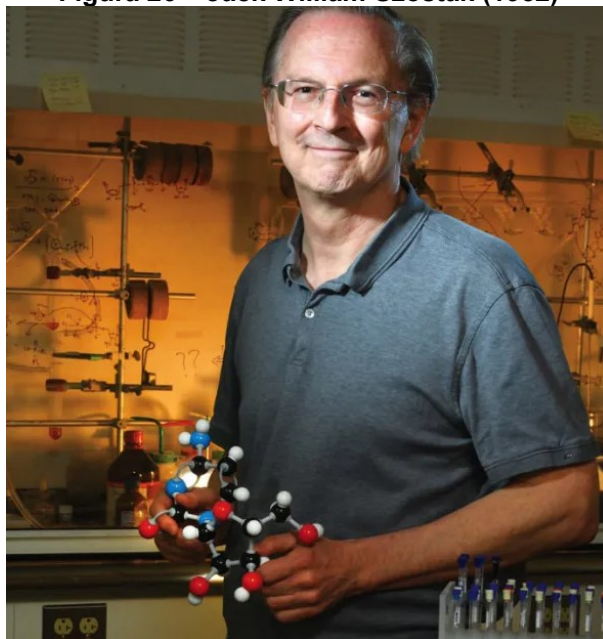
Ocorre, juntamente, a referência a uma equipe de pesquisa — além do cientista dado como principal autor do experimento: “O **biólogo inglês Jack Szostak** (1952-) e **sua equipe** realizaram outros experimentos também usando a argila montmorilonita, mas agora não apenas para formar RNA [...]” (Lopes; Rosso, 2020, p. 61, grifo nosso). Assim como em: “Com esses e outros estudos, **Szostak e equipe** elaboraram um modelo para explicar como a protocélula se divide e replica a molécula de RNA” (Lopes; Rosso, 2020, p. 61, grifo nosso). Por fim, é mencionado que Szostak recebeu o Prêmio Nobel em Fisiologia ou Medicina em 2009.

Jack William Szostak (1952-) (figura 26) é um biólogo e professor universitário nascido em Londres que cresceu no Canadá, atuando atualmente nos EUA. De acordo com O'Donnel (2019), a equipe de Szostak busca descobrir como as células teriam “se montado” originalmente, razão pela qual estão desenvolvendo protótipos de células desde o início dos anos 2000. Szostak tem maior interesse por pesquisas que mostram que as primeiras células se desenvolveram em terra firme, considerando que a luz ultravioleta e os raios poderiam ter contribuído na conversão de moléculas, para assim gerar os componentes básicos da vida.

Szostak, junto aos pesquisadores Marco Todisco e Dian Ding, realizaram um trabalho sobre como os competidores (atribuídos como sequências de RNA que podem se ligar aos moldes, mas com defeitos) podem impactar, potencialmente, a preservação da informação genética, ao criar estados transitórios nos quais cópias errôneas de RNA são formadas:

Nossos resultados sugerem que estados transitórios de baixa precisão podem surgir espontaneamente em todos os sistemas complexos de ácidos nucleicos que compreendem um número suficientemente grande de fitas competindo, com potenciais repercussões para a regulação gênica no âmbito da biologia moderna e para a preservação pré-biótica da informação genética (Todisco; Ding; Szostak, 2024, p. 2174, tradução nossa)⁸¹.

Figura 26 – Jack William Szostak (1952)



Fonte: Harrison (2019)

A Universidade de Chicago (2024) indica que o trabalho relacionou que as moléculas de RNA podem seguir regras que são semelhantes às do DNA. Todavia, irão possuir interações distintas, comparando a uma festa de dança metafórica, em que as moléculas de RNA seriam dançarinos, que estão procurando seus parceiros de dança, os moldes. A competição entre primers, que seriam os parceiros preferenciais, e os competidores, parceiros menos preferenciais, faria com que ocorresse uma dança estranha, composta por parceiros equivocados, afetando a informação genética.

O Nobel mencionado foi entregue devido às pesquisas associadas aos cromossomos, indicando que esses estão protegidos pelos telômeros e pela enzima telomerase, sendo dividido com a professora e bióloga australiana Elizabeth H. Blackburn e com Carol W. Greider, professora e bióloga molecular estadunidense.

⁸¹ No original: “Our results suggest that transient low accuracy states may spontaneously emerge within all complex nucleic acid systems comprising a large enough number of competing strands, with potential repercussions for gene regulation in the realm of modern biology and the prebiotic preservation of genetic information” (Todisco; Ding; Szostak, 2024, p. 2174).

LD1 relaciona o trabalho de diferentes cientistas, fornecendo este contexto histórico para então, finalizar com a menção, apontando a mesma asserção: “[...] na **década de 1960** pelo **microbiologista estadunidense Carl Woese** (1928-2012), pelo **biólogo e biofísico britânico Francis Crick** (1916-2004) e pelo **químico Leslie Orgel**, de que o primeiro material genético das células teria sido o RNA” (Lopes; Rosso, p. 61, 2020, grifo nosso). Concluí essa linha de conhecimento trazendo o avanço da hipótese: “Mais de duas décadas depois, em **1986**, o **bioquímico estadunidense Walter Gilbert** (1932-) usou pela primeira vez a expressão “**mundo de RNA**”” (Lopes; Rosso, 2020, p. 62, grifo nosso).

LD1 representa o **Coletivo de Pensamento**, na maioria de suas menções, com a expressão “e a sua equipe”, referenciando o que seria o cientista orientador da pesquisa ou aquele mais “popular” no universo científico. Quando retoma ao histórico do RNA, pontua o **Tráfego Intercoletivo de Ideias** de alguns dos cientistas do Clube da Gravata e por Woese.

LD4 separa um tópico apenas para estabelecer a relação do Mundo de RNA: “O “mundo do RNA” (*RNA World*) é uma hipótese proposta pelo **físico e bioquímico estadunidense Walter Gilbert** (1932-)” (Mortimer *et al.*, 2020, p. 154, grifo nosso). O livro traz a definição do conceito e a data da proposta, associando com a Terra Primitiva, unindo ao assunto anterior do capítulo em que exemplificava sobre os seres heterótrofos e autótrofos: “Em **1986**, Gilbert propôs que o ácido ribonucleico (ARN ou RNA) teria sido o **primeiro material genético que surgiu**, originado por meio das reações ocorridas na **Terra primitiva**” (Mortimer *et al.*, 2020, p. 154, grifo nosso).

O texto continua com a relação de defensores *versus* opositores da hipótese, articulando com o dogma central da Biologia Molecular, a fim de apresentar que a concordância sobre a origem da primeira macromolécula ainda é questionada, mesmo considerando a relação das proteínas serem originadas do RNA, que por sua vez, é sintetizada pelo DNA:

Os **defensores dessa hipótese** acreditam que o código genético é anterior ao metabolismo na história evolutiva. Nesse sentido, o grande potencial dessa perspectiva é entender como propriedades de reprodução e transmissão de caracteres poderiam ter emergido ao longo da história do planeta Terra. O **dogma central da Biologia molecular** defende que o DNA sintetiza o RNA, que, por sua vez, forma as proteínas. Na história da origem da vida, a grande questão é quem surgiu primeiro: o DNA, o RNA ou as proteínas (Mortimer *et al.*, 2020, p. 154, grifo nosso).

Oparin e Haldane são mencionados para relacionar com a ação versátil das proteínas. A partir disso, a relação de atuação do RNA: “Um dos **fortes argumentos em defesa** dessa hipótese consiste no fato de que o RNA pode armazenar informações genéticas e **atuar como enzima**, catalisando reações” (Mortimer *et al.*, 2020, p. 155, grifo nosso).

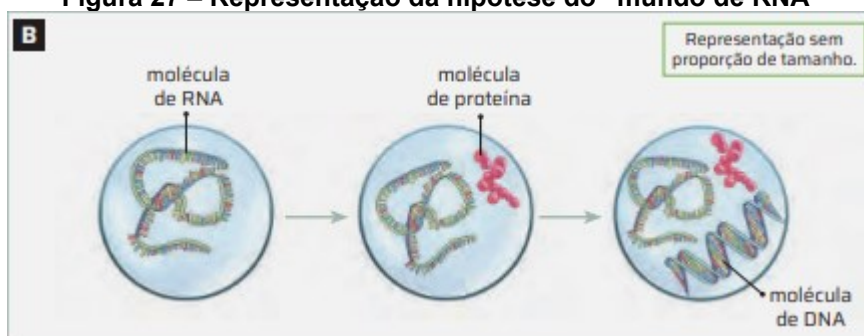
Já para exemplificar a oposição, LD4 relata a provável impossibilidade da construção da estrutura molecular do RNA: “[...] as evidências da Terra primitiva **não** admitem a presença de fósforo na forma insolúvel e, dessa forma, **seria impossível formar os nucleotídeos** em quantidade suficiente para que o RNA ocorresse” (Mortimer *et al.*, 2020, p. 155, grifo nosso). O livro conclui o tópico com a informação de que, apesar das características fomentadoras do Mundo do RNA penderem para o lado de sua atuação enzimática, a maioria dos cientistas ainda estruturam-se na construção duvidosa de sua molécula:

Atualmente, a **maior parte da comunidade científica** aceita que a origem do RNA se deu posteriormente ao surgimento da primeira célula, em um momento em que as condições do meio possibilitaram a formação de uma molécula relativamente simples estruturalmente, mas com alta complexidade metabólica (Mortimer *et al.*, 2020, p. 155, grifo nosso).

Embora LD4 traga uma linha temporal do **Estilo de Pensamento** da época que levou a construção do **Fato**, erroneamente associa Gilbert à criação da hipótese, quando o mesmo ressalta em seu trabalho que era uma proposta realizada por demais cientistas e que estaria atribuindo o nome.

Em LD6, o Mundo de RNA é citado relacionando que: “No final dos **anos 1980**, mostrou-se experimentalmente que moléculas de RNA poderiam se replicar sem a participação de enzimas. Surgiu, então, a hipótese de um “mundo de RNA”” (Fukui *et al.*, 2020, p. 116, grifo nosso). Utilizando de uma figura ilustrativa (figura 27) para exemplificar a possibilidade de multiplicação e transferência de informações da molécula de RNA.

Figura 27 – Representação da hipótese do “mundo de RNA”



Fonte: Fukui *et al.* (2020, p. 116)

LD6 procede em colocar um contraponto à hipótese, em relação específica à formação do RNA nas condições da Terra primitiva: “Entretanto, em experimentos que identificam moléculas formadas em condições similares às da Terra primitiva, a produção de ribose, um componente do RNA, **é rara e insuficiente para sustentar** essa ideia” (Fukui *et al.*, 2020, p.116, grifo nosso). Apresentando, dessa maneira, o Mundo de RNA como uma **Protoideia**, e não associando a nenhum cientista específico.

LD7 não menciona a terminologia Mundo de RNA, todavia, apresenta os indícios da hipótese, abordando sobre pequenos “compartimentos” que seriam similares às células atuais, mencionando Oparin: “Assim como **Oparin propôs**, as condições da Terra primitiva teriam possibilitado a formação de matérias-primas que teriam se reunido em “protocélulas”” (Godoy; Agnolo; Melo, 2020, p. 99, grifo nosso).

Afirmando partir de “um grupo de cientistas”, LD7 relaciona a dificuldade nas atividades realizadas pela molécula de RNA, para sustentar a hipótese: “[...] compartimentalização baseia-se no fato de que **seria difícil configurar a replicação do RNA** ou um metabolismo ativo, sem ter um sistema compartimentalizado para reunir todas as moléculas associadas a esses processos” (Godoy; Agnolo; Melo, 2020, p. 99, grifo nosso). Desta maneira, LD7 apresenta como a indagação sobre o que “surgiu primeiro” permanece, correlacionando com as necessidades de uma célula primitiva para existir no momento inicial do planeta Terra, considerando suas demandas.

Em seguida, apresenta uma fotografia de John David Sutherland (figura 28), abordando sobre a atualidade, do que seria associada ao Mundo de RNA, sobre a possível formulação em laboratório das unidades da molécula de RNA:

Essa tendência ganhou força com os estudos desenvolvidos pelo químico britânico John David Sutherland (1962-). Sutherland foi capaz de produzir, em laboratório, os precursores para a formação de moléculas de RNA e de moléculas de lipídios, partindo de um mesmo conjunto de compostos químicos e de condições que poderiam estar presentes na Terra primitiva (Godoy; Agnolo; Melo, 2020, p. 100).

John David Sutherland (1962 -) é um químico britânico que atua na Divisão de Química de Proteínas e Ácidos Nucleicos do LMB. De acordo com MRC *Laboratory of Molecular Biology* (2012), em 2011, o químico estadunidense Harry Lonsdale lançou o “Desafio da Origem da Vida”, no qual propôs à comunidade científica a apresentação de ideias inovadoras que fornecessem respostas à origem da vida. Sutherland ganhou o desafio, dividindo o prêmio em dinheiro e a bolsa de estudos com o químico Matthew Powner. Sutherland e Powner, com suas respectivas equipes, focaram na compreensão da química do mecanismo de replicação da primeira vida, em especial com os blocos de construção do RNA e demais moléculas biológicas consideradas essenciais, no qual afirmaram:

Se um método de química de sistemas para produzir misturas de todas as classes de moléculas consideradas essenciais para a vida primitiva fosse descoberto, as significativas dificuldades conceituais associadas aos “mundos” puros de RNA, proteína, lipídio ou metabolismo seriam atenuadas (Powner; Sutherland, 2011, p. 2870, tradução nossa).⁸²

Desta forma, Power e Sutherland (2011) visaram a exemplificação dessa estratégia de simular as condições comuns nas quais os subsistemas químicos geram nucleotídeos e lipídios, sugerindo assim, um cenário de origem da vida pós-impacto meteorítico, em que o “cenário é uma tentativa de relacionar essa sequência de condições a uma sequência plausível de eventos geoquímicos” (Powner; Sutherland, 2011, p. 2874, tradução nossa).⁸³

⁸² No original: “If a systems chemistry method to make mixtures of all the classes of molecules considered essential for early life were to be discovered, the significant conceptual difficulties associated with pure RNA, protein, lipid or metabolism ‘worlds’ would be alleviated” (Powner; Sutherland, 2011, p. 2870).

⁸³ No original: “The scenario is an attempt to match this sequence of conditions to a plausible sequence of geochemical events.” (Powner; Sutherland, 2011, p. 2874).

Figura 28 – Químico britânico John David Sutherland (1962-)



Fonte: Godoy; Agnolo; Melo (2020, p. 100)

Desse modo, LD7 ressalta, embora que brevemente, a necessidade da **Mutação de Estilo de Pensamento** acerca do Mundo de RNA, trazendo atualidades sobre o tema com pesquisadores modernos, ainda que mencionando apenas um dos envolvidos.

4.3.2 Análise dos livros acadêmicos

No quadro 7 há a relação do conteúdo do Mundo de RNA presente nos livros acadêmicos, apresentando o local do conteúdo e a nomeação dos capítulos ou partes, considerando as obras e seus códigos como presentes no quadro 3.

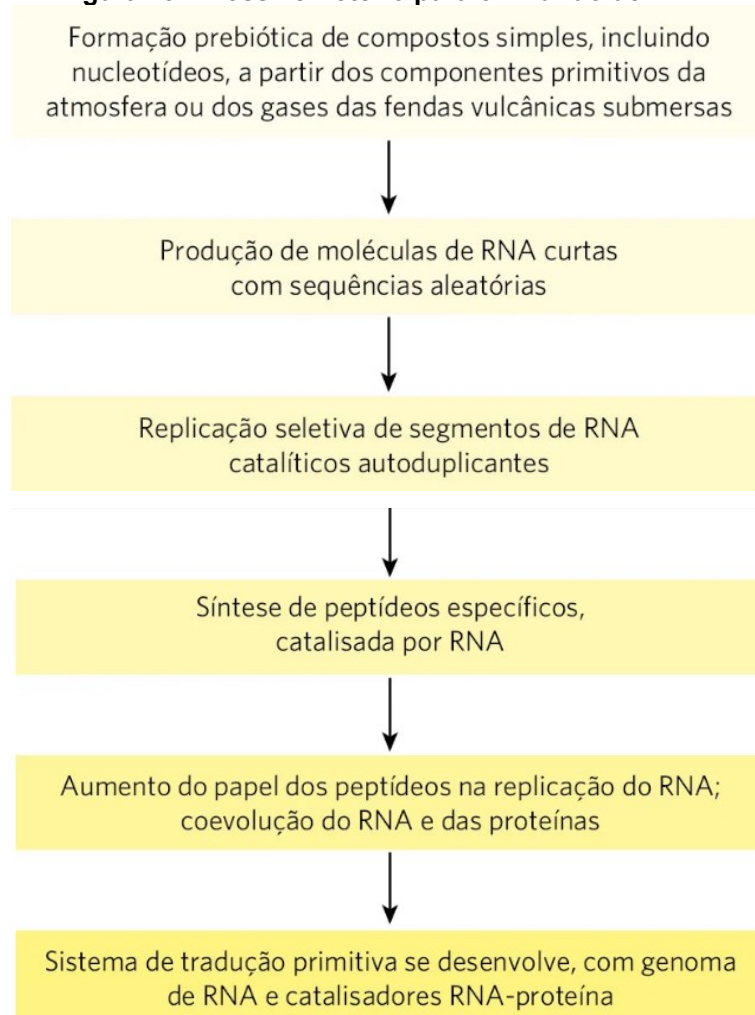
Quadro 7 – Local do conteúdo do Mundo de RNA nos livros acadêmicos

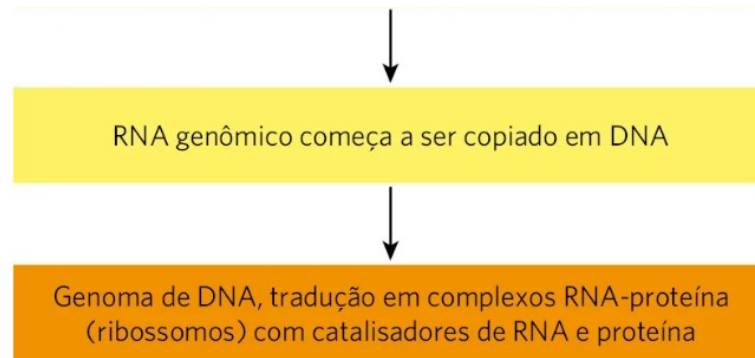
Código	Local do conteúdo	Nomeação
LA1	Capítulo 1 (p. 32)	O RNA ou precursores relacionados podem ter sido os primeiros genes e catalisadores
	Parte III (p. 995)	RNA catalíticos e a hipótese de um mundo de RNA
LA2	Capítulo 6 (p. 362)	O mundo de RNA e a origem da vida
LA3	Não há	
LA4	Capítulo 2 (p. 40)	Estrutura dos Ácidos Nucleicos
LA5	Não há	
LA6	Não há	
LA7	Capítulo 7 (p. 353)	RNA e a Origem da Vida

Fonte: Autoria própria (2025).

Em LA1, o conteúdo relativo ao Mundo de RNA é inserido através da discussão sobre “quem” veio primeiro, o DNA ou a proteína: “Nos organismos modernos, ácidos nucleicos codificam a informação genética que especifica a estrutura das enzimas, que, por sua vez, catalisam a replicação e o reparo dos ácidos nucleicos” (Nelson; Cox; Hoskins, 2022, p. 32). Essa dependência de ambas biomoléculas indaga a questão introdutória. Partindo da ideia de que moléculas de RNA poderiam agir como catalisadoras para a formação de si mesmas, LA1 apresenta o cenário da hipótese, pela figura 29.

Figura 29 – Possível roteiro para o “mundo de RNA”





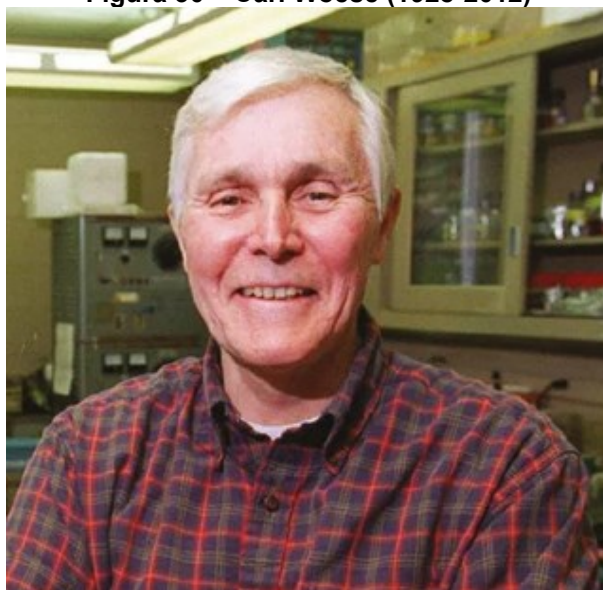
Fonte: Nelson; Cox; Hoskins (2022, p. 32)

Para LA1, “A divisão de funções entre DNA (armazenamento da informação genética) e proteínas (catálise) foi, segundo a hipótese do “mundo de RNA”, um desenvolvimento posterior” (Nelson; Cox; Hoskins, 2022, p. 32) complementando que a “descoberta de que, na maquinaria de síntese de proteínas das células modernas (ribossomos), são moléculas de RNA e não de proteínas que catalisam a formação de ligações peptídicas é consistente com a hipótese do mundo de RNA” (Nelson; Cox; Hoskins, 2022, p. 32).

Embora considere o Mundo de RNA como “intelectualmente satisfatório”, LA1 levanta o questionamento: “de onde vieram os nucleotídeos necessários para fazer as primeiras moléculas de RNA?” (Nelson; Cox; Hoskins, 2022, p. 33), afirmando que as hipóteses associadas a resolução dessa questão não podem ser descartadas.

A presença dos cientistas envolvidos é citada em outro capítulo, ao retomar sobre as hipóteses envolvidas: “A revelação da complexidade estrutural e funcional do RNA levou **Carl Woese, Francis Crick e Leslie Orgel** a proporem, na **década de 1960**, que essa molécula poderia servir como transportadora de informação e catalisadora” (Nelson; Cox; Hoskins, 2022, p. 998, grifo nosso). Traz, juntamente ao breve histórico, uma fotografia do cientista Carl Woese (figura 30).

Figura 30 – Carl Woese (1928-2012)



Fonte: Nelson; Cox; Hoskins (2022, p. 998)

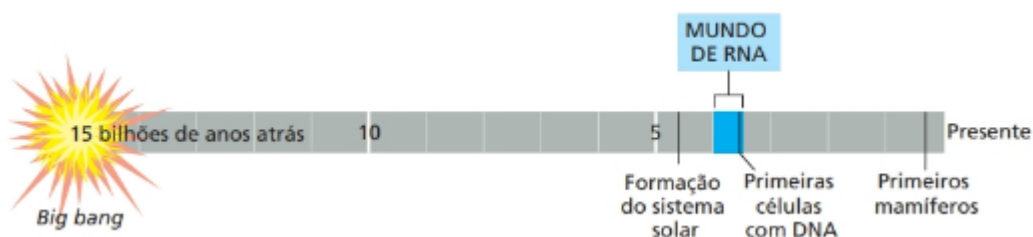
Em seguida, LA1 aborda sobre seis linhas de evidência que auxiliaram na hipótese do Mundo de RNA: 1. Experimentos de química prebiótica; 2. A existência de RNA catalíticos; 3. O repertório catalítico em expansão das ribozimas; 4. A estrutura do ribossomo; 5. Vestígios de um mundo de RNA; 6. Progresso na busca por um replicador de RNA (Nelson; Cox; Hoskins, 2022). LA1 conclui que, mesmo com essas linhas, ainda há diversas lacunas:

Embora o mundo de RNA **permaneça uma hipótese**, com muitas lacunas ainda a serem explicadas, evidências experimentais dão apoio a uma lista crescente de seus principais elementos. **Experimentos adicionais devem aumentar nosso entendimento**. Pistas importantes para o quebra-cabeça serão encontradas nos trabalhos da química fundamental, em células vivas ou, talvez, em outros planetas (Nelson; Cox; Hoskins, 2022, p. 1001, grifo nosso).

De mesma maneira ao livro didático anterior, LA1 propõem que o Mundo de RNA foi um **Fato** estabelecido por Woese, Crick e Orgel. O **Estilo de Pensamento** é mais exemplificado, visto a característica específica do livro, ressaltando a necessidade da expansão nos experimentos.

LA2 inicia com a pergunta: “se são necessários ácidos nucleicos para a síntese de proteínas e, por sua vez, são necessárias proteínas para a síntese de ácidos nucleicos, como pode esse sistema de componentes interdependentes ter se originado?” (Alberts, 2017, p. 362). Apresenta, então, Mundo de RNA junto à figura 31, associando uma linha do tempo à hipótese. LA2 relaciona a síntese proteica e o controle gênico com o Mundo de RNA, todavia, não aborda características históricas.

Figura 31 – Linha de tempo para o universo



Fonte: Alberts (2017, p. 363)

LA4 apresenta o assunto em único momento: “Quanto às possíveis atividades bioquímicas dos RNAs, a descoberta de que eles podem catalisar reações levou à formulação do, atualmente denominado “o mundo do RNA” (Zaha; Ferreira; Passaglia, 2014, p. 40).

LA7 traz a mesma figura de LA2 (figura 31), apresentando a história sobre a hipótese, e complementando o desenho de que “Apenas tardiamente, em termos evolutivos, o DNA suplantou o RNA como material genético, e as proteínas se tornaram os principais componentes catalisadores e estruturais das células” (Alberts *et al.*, 2017, p. 253).

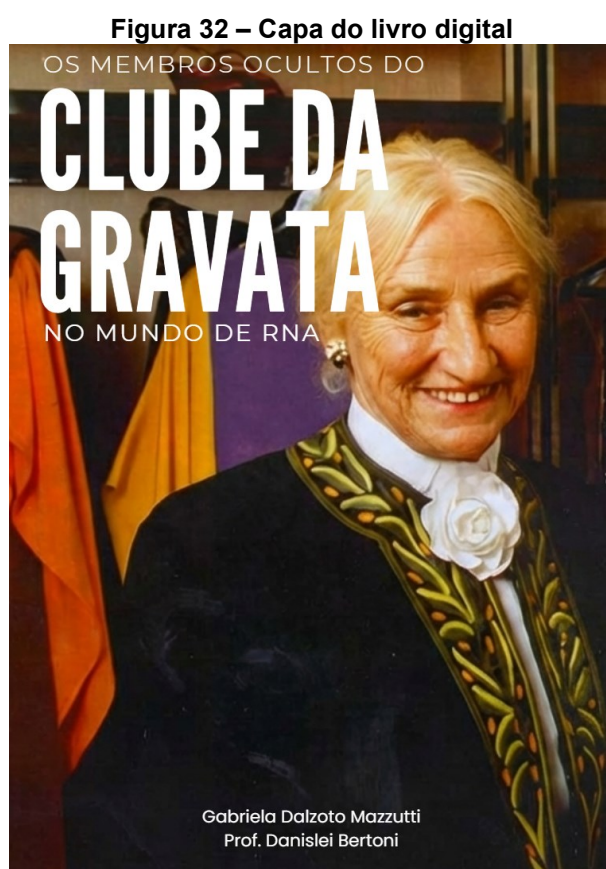
Há menos presença de elementos da História da Ciência do Mundo de RNA nos livros acadêmicos que retomam aos personagens históricos, porém, a hipótese foi mais elaborada textualmente. Para LA4 e LA7, o Mundo de RNA foi proposto como um **Estilo de Pensamento** consolidado.

4.4 Livro digital: “Os membros ocultos do Clube da Gravata: o Mundo de RNA”

O livro digital foi dividido em sete capítulos, descritos abaixo, tomando como base a síntese sobre o RNA e o Mundo de RNA discernidos no tópico 4.1. Cada capítulo abordou sobre uma etapa do episódio histórico, enquanto o capítulo 2 traz os conceitos da Epistemologia de Fleck. Os capítulos foram nomeados de acordo com as fases da transcrição: Capítulo 1 – Iniciação (O que é RNA?; A presença dos ácidos nucleicos; O que ocorria na Terra Primitiva?), Capítulo 2 – RNA polimerase (Quem é Fleck?; No que consiste a Epistemologia de Fleck?), Capítulo 3 – Promotor (Síntese de RNA; Como ocorreu a pesquisa?), Capítulo 4 – Desenrolar (Faça ou morra, ou não tente; Dogma central por Francis Crick), Capítulo 5 – Alongamento (tRNA; A estrutura do tRNA), Capítulo 6 – Adicionar (mRNA; O papel do mRNA; O isolamento do mRNA), Capítulo 7 – Terminação (Mundo de RNA, Primeiro Simpósio sobre a Origem da Vida; Formulação oficial do Mundo de RNA; Nascimento do termo “Mundo de RNA”). Além

dos capítulos, há um prefácio, apresentando a autora e indicando como ocorreu a construção do livro, e um epílogo, abordando sobre as atualidades do Mundo de RNA, conforme visto na análise dos livros didáticos.

A capa do livro digital (figura 32) foi baseada nos *designs* limpos — que utilizam de características minimalistas para favorecer a imagem de fundo — de revistas como a ELLE e a Vogue. A imagem de fundo é uma fotografia editada de Marianne Grunberg-Manago.



**Fonte: Autoria própria (2026) baseada em
Comité Pour L'Entretien des Sépultures Orthodoxes Russes (2023)**

O nome, “Os membros ocultos do Clube da Gravata: o Mundo de RNA”, faz referência ao clube montado por Gamow. Como a maior parte dos capítulos envolvem cientistas que não estavam dentre os vintes participantes, optou-se por categorizá-los como “membros ocultos”.

Como descrito anteriormente, o livro digital foi desenvolvido utilizando o *Canva*, uma ferramenta de *design* gráfico *online* que possui versão gratuita. O livro possui formato A4, de modo a ser exportado em PDF (*Portable Document Format*). Para a elaboração dos capítulos, considerou-se a criação de paletas de cores (figura 33), de modo que cada um fosse associado a uma variação de cores similares.

Figura 33 – Exemplo de paleta de cores

	Lightest #EEF5FF		Lightest #FFEEEE		Lightest #FDF2E7
	Lighter #BAD9FF		Lighter #FFBABB		Lighter #F7CB9D
	Light #86BCFF		Light #FF8688		Light #F1A454
	Primary #529FFF		Primary #FF5255		Primary #EB7D0A
	Dark #396FB3		Dark #B3393B		Dark #A55807
	Darker #295080		Darker #80292B		Darker #763F05

Fonte: Autoria própria (2026)

Os elementos de abordagem da História da Ciência foram produzidos utilizando conceitos visuais fixos para todos os capítulos. Para os ícones, foi utilizado o *site Flaticon*⁸⁴, um banco de dados que permite o uso para projetos não comerciais, desde que creditado — assim, perante todo o livro, a fonte do ícone está sempre próxima. Para a “Sessão Pipoca” (figura 34) foi utilizado uma imagem relativa ao vídeo, com um breve texto sobre esse ao lado, com ícones de pipoca e o acesso ao *link* do material abaixo. Essas sessões foram adicionadas para auxiliar no conteúdo apresentado, ou servir como complementar às informações dos cientistas.

Figura 34 – “Sessão Pipoca”



SESSÃO PIPOCA

Vídeo do cientista Aaron Klug falando sobre como foi trabalhar na **estrutura do tRNA**. Klug menciona seus colegas e corrida pela descoberta. Entrevista disponível no canal no YouTube *Web of Stories - Life Stories of Remarkable People*.

Acesso em: <https://youtu.be/r86THCgzA30?si=ylnrnBuwSmV6O7xG>

Fonte: Autoria própria (2026)

Fleck aborda sobre como a construção do Fato Científico sofre influência (assim como também influencia) os acontecimentos mundiais e locais, envolvendo as questões políticas, culturais, sociais e econômicas. De modo a introduzir os acontecimentos mundiais e locais, mesmo que não associados diretamente ao episódio histórico, foram utilizadas sessões em colunas (figura 35). “O que acontecia

⁸⁴ Disponível em: <https://www.flaticon.com>.

no mundo?” e “O que acontecia no Brasil?” podem ou não apresentar com imagens, possuem as datas acima para indicar o intervalo de tempo considerado.

Figura 35 – “O que acontecia no mundo?” e “O que acontecia no Brasil?”



Fonte: Autoria própria (2026)

Para demonstrar que esses cientistas também eram professores, a sessão “Foi professor” (figura 36) apresenta um breve relato sobre o cargo do personagem histórico, indicando onde e (quando possível) como ele/ela era em atuação. O material foi elaborado em verde, sendo dedicado um espaço horizontal no início ou final da página. Na lateral direita, a fotografia do professor ou do local onde atuava, quando tais informações estavam disponíveis.

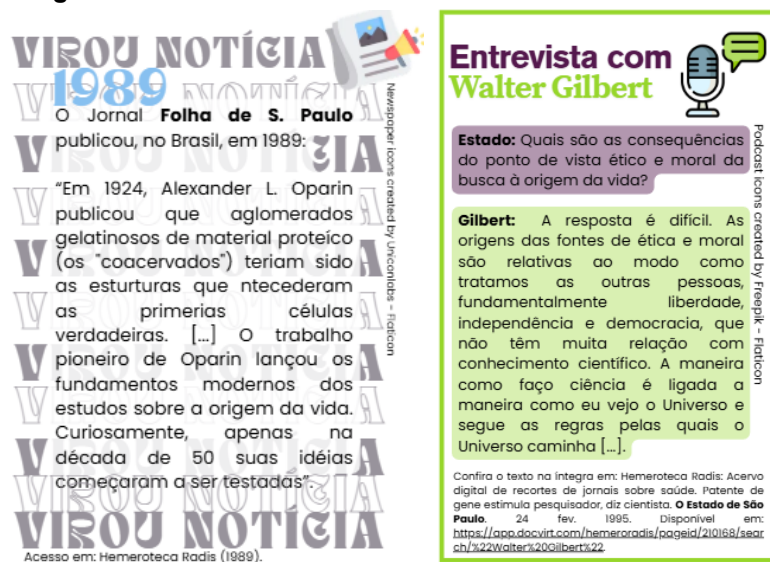
Figura 36 – “Foi professor”



Fonte: Autoria própria (2026)

Para a sessão “Virou notícia” (figura 37, lado esquerdo), foram consultados os acervos de hemerotecas *online*. Em especial, o sistema *DocPro* Criação de Bibliotecas Virtuais - 2020⁸⁵, que direcionava para a indexação de diversos arquivos eletrônicos brasileiros. Para a busca, utilizava-se palavras-chave do conteúdo do capítulo ou o nome do personagem histórico, de modo a encontrar notícias relevantes para indicar como o episódio foi retratado na época ou posteriormente. Em “Entrevista com o cientista” figura 37, lado direito, foi trazido breves transcrições de entrevistas julgadas relevantes com o contexto do capítulo. A tradução foi feita pela autora, e o acesso para o material original — retirado, em sua maioria, de jornais — foi disponibilizado sempre abaixo da transcrição.

Figura 37 – “Virou Notícia” e “Entrevista com o cientista”

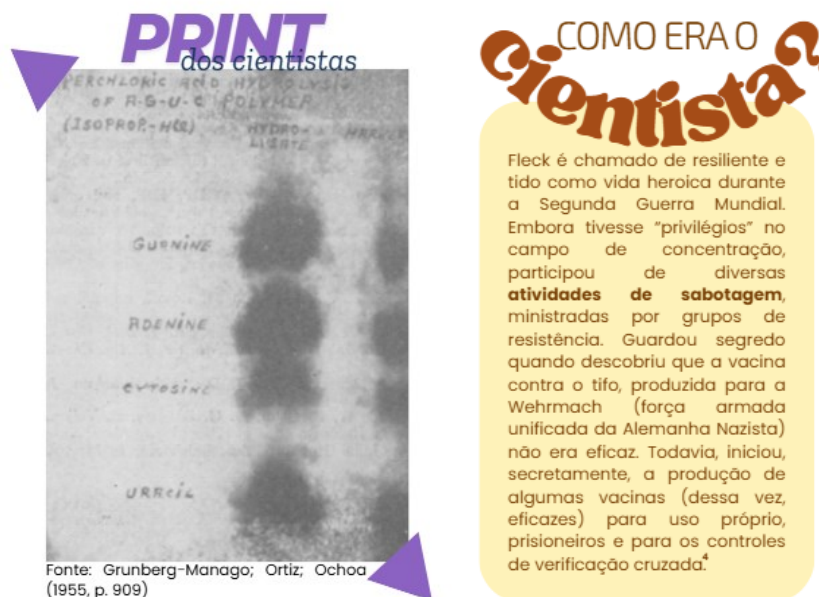


Fonte: Autoria própria (2026)

Na sessão “*PRINT* do cientista” (figura 38, lado esquerdo), uma imagem referente ao artigo publicado ou uma fotografia do cientista é trazida de modo a exemplificar o conteúdo abordado. A sessão foi adaptada ao longo dos capítulos, e aumentada caso necessário, para melhor visualização da figura/experimento. Em “Como era o cientista?” (figura 38, lado direito), trechos de materiais que descreviam a personalidade ou gostos do cientista são transcritos, de modo a auxiliar na aproximação do personagem. Tal sessão foi utilizada em coluna, podendo ou não apresentar ícones ilustrativos dos *hobbys* do respectivo cientista comentado.

⁸⁵ Disponível em: <https://www.docvirt.com/AcervosOnline/>.

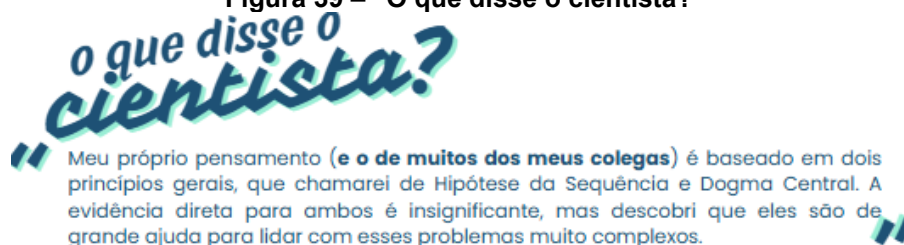
Figura 38 – “**PRINT** do cientista” e “Como era o cientista”



Fonte: Autoria própria (2026)

Em “O que disse o cientista?” (figura 39), trechos dos artigos publicados pelos cientistas foram traduzidos para o Português pela autora. A sessão, que foi adaptada de tamanho de acordo com o trecho e as necessidades de cada capítulo, apresenta o material traduzido seguido pela citação.

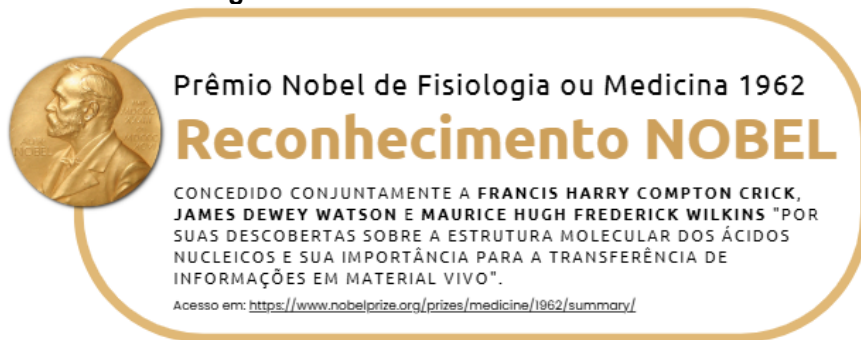
Figura 39 – “O que disse o cientista?”



Gricik (1958, p. 152)

Fonte: Autoria própria (2026)

Em “Reconhecimento Nobel” (figura 40) foi trazido o nome do prêmio assimilado, vide exemplo: “Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina 1962”, seguido pelos premiados e o trecho, traduzido para o português, do trabalho pelo qual foi concedido. A sessão foi apresentada apenas quando o prêmio era relativo ao conteúdo discernido. Ao lado esquerdo, conta com a imagem de perfil, em ouro, de Alfred Bernhard Nobel (1833 – 1896), símbolo da premiação. Para o “Esnobado do Nobel”, não foi realizada uma sessão especial, apenas mencionado de forma textual.

Figura 40 – “Reconhecimento Nobel”**Fonte: Autoria própria (2026)**

Além dos elementos de abordagem da História da Ciência descritos, foram inseridas fotografias dos cientistas com a bandeira de seu país de nascimento, assim como pequenas sessões “dicionário”, em que termos específicos eram explicados.

A Epistemologia de Fleck foi discernida ao longo do capítulo e, juntamente, sintetizada ao final de cada um, como uma maneira de pontuar os conceitos atribuídos por Fleck aos episódios e promover uma reflexão sobre como o Fato Científico foi trabalhado, como foi o envolvimento dos cientistas de diferentes grupos de pesquisa — e por vezes, de diferentes especialidades — para compor a construção coletiva da Ciência.

4.4.1 Validação inicial do produto educacional

Foram consultados, através do formulário *online*, seis professores de Ciências e/ou Biologia formados no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas na UTFPR, Ponta Grossa.

Considerando o perfil dos validadores para sua trajetória acadêmica, os mesmos indicaram que cursaram a disciplina de "Biologia Celular e Molecular e Noções de Biotecnologia" nos anos de: 2016/2 e 2017/2 (1 resposta); 2018/1 (2 respostas) e 2019/1, 2019/2 e 2020/2 (cada um com uma resposta, respectivamente). Desta forma, houve uma variância entre o período cursado.

Para a questão “Durante meu Ensino Médio, tive aulas com o conteúdo referente à Biologia Celular e Molecular”, os validadores indicaram: dois concordaram totalmente; um concordou parcialmente; dois discordaram parcialmente e um discordou totalmente. A relação atribuída às aulas foi mista dentre os anos de entrada dos validadores — considerando que nessa população, todos haviam completado o Ensino Médio e adentrado o Ensino Superior no ano seguinte — o que indica que não

houve um padrão de avanço ou piora do ensino específico de Biologia Celular e Molecular (BCM), mas sim, uma variante entre os locais de ensino.

Em seguida, a questão parte de uma afirmação “O conteúdo de Biologia Celular e Molecular é **difícil** de aprender e ensinar”, para qual as respostas indicaram que todos os envolvidos (sendo que quatro concordaram totalmente e dois concordaram parcialmente) categorizam como sendo um conteúdo que não apenas dificultou seu aprendizado, mas também, dificulta o ensino.

Interligado à afirmação anterior, “Não tenho prazer em **aprender** o conteúdo de Biologia Celular e Molecular” visava interpretar a visão que os validadores têm sobre BCM, para a qual três indicaram discordar totalmente enquanto houve uma resposta para concordar totalmente, concordar parcialmente e discordar parcialmente, respectivamente, o que ressalta que embora possuam dificuldades associadas ao aprendizado, os envolvidos ainda possuem interesse em aprimorar tais conhecimentos.

Para a segunda etapa do perfil dos validadores, foi questionado sobre a trajetória profissional. Em “Indique seu tempo de atuação como professor(a)”, ocorreu uma resposta para 1 ano e 4 anos, e 2 respostas para 3 anos e 5 anos. Quanto ao local de atuação, três atuam em instituições públicas, um em instituições privadas e dois atuam em ambas.

Para a primeira parte das considerações sobre o produto educacional, foi questionado: “Você sabia o que era o “Mundo de RNA” antes da leitura do produto educacional?”, para qual quatro indicaram que não. Assim, o livro digital foi o primeiro contato do tema com a maioria dos validadores. Na sequência, seguindo as orientações de Rosa e Souza (2023), iniciou as questões relativas à estrutura: “O produto educacional **promove** o diálogo entre o texto verbal e o visual, além de apresentar um texto atrativo e de fácil compreensão”; “A **estrutura** do produto educacional está bem-organizada, favorecendo a compreensão para aplicação em sala de aula”; “As **figuras/ilustrações** e os *links* disponíveis no produto educacional são relevantes” e “O produto educacional apresenta **capítulos** interligados e coerentes”, nas quais todos as respostas foram que concordam totalmente. Para “A História da Ciência me aproximou mais do conteúdo de Biologia Celular e Molecular” e “A Epistemologia de Fleck auxiliou na compreensão do coletivo na construção da Ciência”, cinco indicaram concordar totalmente e um concordar parcialmente. Por

tanto, no que retoma à elaboração do material, esse se mostrou bem-elaborado em sua composição e estrutura.

Por conseguinte, as questões descritivas: “Você acredita que os elementos de inserção da História da Ciência (as sessões: “Virou notícia”; “O que acontecia no mundo?”; “O que acontecia no Brasil?”; “Como era o cientista?”; “RINT do cientista”; “O que disse o cientista?”; “Sessão pipoca”; “Reconhecimento Nobel”; “Entrevista com o cientista”; “Foi professor”) auxiliaram na compreensão do episódio histórico?” e “Qual das sessões (“Virou notícia”; “O que acontecia no mundo?”; “O que acontecia no Brasil?”; “Como era o cientista?”; “*PRINT* do cientista”; “O que disse o cientista?”; “Sessão pipoca”; “Reconhecimento Nobel”; “Entrevista com o cientista”; “Foi professor”) você achou mais interessante e por quê?” foram apresentadas, cuja as respostas estão presentes no quadro 8.

Quadro 8 – Respostas das questões descritivas referentes às sessões de História da Ciência

Av.	Você acredita que os elementos de inserção da História da Ciência auxiliaram na compreensão do episódio histórico?	Qual das sessões você achou mais interessante e por quê?
1	<i>Sim! Pois é um tema interdisciplinar. Ao mesmo tempo que ocorreram pesquisas na área de biologia celular (voltadas ao RNA), outros acontecimentos também se fizeram presentes. Isso mostra que os conteúdos não são como caixinhas separados um do outro, da mesma forma, é interessante mostrar que é indissociável os acontecimentos do mundo.</i>	O que acontecia no Brasil! Há uma grande falta de conhecimentos sobre os acontecimentos do próprio país. É de grande importância despertar o interesse e olhar crítico sobre o que já passamos para que problemas não de repitam.
2	<i>Concordo totalmente, enquanto professora entendo que esses elementos são meios que proporcionam múltiplos significados em sala de aula ao pensarmos em ensino. Eles fazem com que os alunos tenham mais curiosidade em aprender quais são as outras relações existentes com a temática estudada, fazem também com que o aluno perceba e tenha noção de que muitas coisas estão acontecendo ao mesmo tempo, como os meios de comunicação compartilham isso, quais os impactos, como era a vida daquela pessoa, trazendo uma proximidade, além do conhecimento.</i>	<i>A sessão que mais achei interessante foi "O que acontecia no Brasil", pois é algo diferente e que os alunos, e até mesmo professores, não vemos com frequência quando falamos em material didático, por exemplo. Saber de coisas importantes que também aconteceram no seu país em determinado ano como quando seu país ganhou o primeiro título da Copa do Mundo, quando ocorreu surto de meningite no país ou quando uma das maiores redes de TV foi inaugurada despertam interesse e curiosidade em quem está lendo, são coisas que não lemos com frequência, elas agregam ao todo um valor muito grande. Cria uma conexão entre o leitor e o texto, ensina, diverte e instiga, além de valorizar o que ocorria aqui também. É uma sessão excelente.</i>
3	<i>Sim, acho que foi muito bem colocado e organizado, o que auxilia com o aspecto interdisciplinar das aulas.</i>	<i>Gostei das sessões "O que acontecia no Brasil" e "O que acontecia no mundo" pois contextualizam as descobertas e facilita a compreensão de que o conhecimento científico é construído ao longo do tempo, com erros, acertos e influências sociais, o que torna o aprendizado mais crítico e significativo.</i>

4	Muito! Esses elementos só enriquecem ainda mais o material didático e umenta ainda mais o conhecimento com os materiais extras como por exemplo o "sessão pipoca".	Todas são muito enriquecedoras. Mas a que achei mais interessante foi a sessão pipoca , principalmente para os estudantes terem acesso. Pois é um público que acaba se interessando e despertando ainda mais o interesse quando é algo que possa assistir .
5	Sim. As sessões com títulos chamativos e com conceitos e gírias que são mais "jovens" despertam mais a curiosidade dos estudantes.	A sessão pipoca , para mim, foi a mais legal pois ela dá uma "quebra" necessária no conteúdo , trazendo a interdisciplinaridade e fazendo o aprendizado ser significativo em diferentes áreas.
6	Sim, sempre que o fato científico vem com uma ligação com a história humana é muito mais fácil de trabalhar e exercitar a compreensão da ciência, tirando aquele aspecto de "Eureca" onde a ciência parece abstrata.	Gostei muito da "sessão pipoca" , interligar o conhecimento científico com um vídeo é excepcional, faz com que possamos trabalhar metodologias ativas em sala com esse material.

Fonte: Autoria própria (2026), baseada nas respostas de validadores no formulário (grifo nosso).

Com base nas respostas, nota-se o uso abrangente da palavra interdisciplinar, como característica atribuída ao livro digital, assim como o termo “despertar interesse”, quando associado o uso do material em sala de aula. Nos pontos das sessões de inserção da História da Ciência, houve a prevalência da “O que acontecia do Brasil?”, sendo justificada pela exemplificação dos momentos nacionais e a facilidade de reconhecimento da construção científica ao longo do tempo, visto que tal sessão teria corroborado para situar a linha temporal científica com o desenvolvimento do país. As demais respostas estabeleceram a Sessão Pipoca como a “quebra” dos elementos textuais, e ressaltaram que poderia ser a sessão favorita dos estudantes.

Como finalização do formulário, foi questionado: “Qual capítulo (ou personagem histórico) você achou mais interessante e por quê?” e “Você acredita que o produto educacional auxiliará na inserção da História Epistemológica da Ciência sobre o Mundo do RNA em sala de aula?”, as respostas estão no quadro 9.

Quadro 9 – Respostas das questões descritivas referentes a construção e História Epistemológica da Ciência

Av.	Qual capítulo (ou personagem histórico) você achou mais interessante e por quê?	Você acredita que o produto educacional auxiliará na inserção da História Epistemológica da Ciência sobre o Mundo do RNA em sala de aula?
1	Hildegard Lamfrom . Uma mulher na ciência, principalmente na época dela, é de admirar muito! Além do que, todo o cientista coloca um “tijolinho” na sua área de pesquisa , e cada um contribui para evolução dos estudos na área.	Sim
2	O capítulo 7: terminação - Mundo de RNA . Justamente por ser um assunto que não tinha um conhecimento tão grande, mesmo tendo	Sim, totalmente. Enquanto professora isso é algo que sempre tento trazer aos meus alunos, porque eu entendo e vejo a

	cursado Ciências Biológicas não foi um assunto muito aprofundado, até mesmo o nome "mundo de RNA", que também não conhecia, gostei de ler e aprender um pouco mais. Outro motivo de ter escolhido esse capítulo, é que Oparin muita das vezes é mencionado apenas quando vamos aprender as teorias sobre a origem da vida e acabou, não se vai muito além e nem mesmos nos livros didáticos que utilizamos. O que é diferente do capítulo em questão, ele conta uma história, ele mostra quais são as relações, ligações e importância.	importância da HEC. De mostrar aos alunos como a ciência é construída, como se chega a uma teoria. Não é só porque eu li no livro que o cientista X chegou a essa descoberta que se resume a isso, que ele "iluminadamente" chegou a essa conclusão. A ciência é feita por muitas mãos e mentes, a ciência é uma montanha-russa, não é linear, e é por isso que ela é tão bonita. Mostrar que a ciência erra, que está relacionada com o contexto social, cultural, político e que as vezes precisamos recomeçar. Isso traz uma humanidade a ciência e criticidade aos alunos.
3	Acho que o capítulo 3 é muito interessante pois traz a ciência e a história com contribuições de mulheres e de diferentes partes do mundo, mostrando uma construção humana diversa.	Sim, o material é didático e interdisciplinar. Mesmo com bastante conteúdo, a leitura flui de maneira leve e agradável, sendo fácil e interessante de acompanhar.
4	Sobre Fleck. Principalmente como os conceitos foram divididos na tabela, uma ótima explicação e entendimento do assunto abordado.	Muito! Relembrando na época em que estudei no Ensino Médio, como nunca tive contato com algum material didático parecido e esse tipo de material torna primeiramente o estudo muito mais convidativo, se tornando "fácil" o entendimento da temática.
5	O personagem histórico que mais me chamou atenção foi Marianne Grunberg-Manago, porque ela teve um papel fundamental na ciência, em especial na descoberta das enzimas que participam da síntese do RNA. Achei inspirador como ela contribuiu para avanços importantes na biologia molecular, mesmo enfrentando desafios em uma época em que havia poucas mulheres reconhecidas na ciência.	O produto tem um storytelling muito bem construído e é bastante chamativo o que faz com que os estudantes sejam mais atraídos para ele. Porém, o conteúdo de Biologia Molecular é pouco "palpável" fazendo com que acabe ficando maçante mesmo com um material tão bem feito como esse.
6	Gostei muito de ser inserido a Marianne Grunberg-Manago e da contextualização da profissão dela como professora, trazendo o vínculo de cientista e professor.	Sim.

Fonte: Autoria própria (2026), baseada nas respostas de validadores no formulário (grifo nosso).

Com base nas respostas, notou-se uma predominância da menção às cientistas mulheres mencionadas no livro, em especial, Marianne Grunberg-Manago. Os validadores indicam a surpresa, o interesse e reconhecem as demais dificuldades apresentadas, além da relação da cientista também atuar como professora. Um dos validadores correlaciona o conteúdo atribuído à Oparin, comparando com o conhecimento prévio sobre o cientista e como tal associação pelo Mundo de RNA não era presente em demais materiais.

Quanto à relação com a inserção da História Epistemológica da Ciência sobre o Mundo de RNA em sala de aula, um dos validadores pontuou sobre como a BCM é

“pouco palpável”, tornando-a maçante mesmo com o material elaborado, todavia, de modo geral, a maioria dos validadores apontaram positivamente sobre o uso, ressaltando essa construção como importante para a compreensão da Ciência. Todas as indicações consideradas pelos validadores foram utilizadas para a melhoria no livro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento da construção do pensamento científico e o Estilo de Pensamento envolvidos no processo do Fato Científico, corroboram com uma visão crítica do trabalho coletivo de pesquisa, potencializando o aprendizado dos estudantes e a atuação do professor, ao inserir, estrategicamente, a História da Ciência no conteúdo de Biologia.

Ao elaborar a síntese histórica-epistemológica sobre o ácido ribonucleico e o Mundo de RNA, foi possível afirmar, segundo as pesquisas realizadas, que não identificamos uma pessoa específica para a qual seria possível atribuir o título de “criadora” da hipótese do Mundo de RNA. Evidencia-se que cada cientista creditado utilizou de fundamentos — tanto teóricos quanto científicos-experimentais — para construir e colaborar para o desenvolvimento do Fato Científico, baseando-se, dessa maneira, no Coletivo de Pensamento. Além de que, para a construção do Mundo de RNA, foram necessários o conhecimento prévio e as Protoideias difundidas, anos antes, pelos cientistas que buscavam a compreensão da macromolécula RNA.

Como obstáculos para o desenvolvimento da síntese, salienta-se a barreira linguística para com trabalhos na língua russa, que compunham uma parte crucial da construção histórica do Mundo de RNA; tal obstáculo foi superado, de forma moderada, pelo uso de diferentes tradutores disponibilizados de forma *online*, assim como dicionários para palavras específicas, a fim de tornar a tradução mais exata possível (considerando que está sendo reconstruída por uma pessoa não fluente na língua, e que essa pertence a outro alfabeto). Ademais, a falta de informações ou a ausência de locais confiáveis para a consulta de dados de cientistas pouco conhecidos, para os quais apenas havia referência ao nome — e em algumas situações, o nome abreviado, dificultando juntamente na pesquisa.

Ressalta-se, ainda na (re)construção histórica, a menção aos eventos científicos, que possibilitaram o encontro entre os cientistas. As relações associadas à Circulação Inter e Intracoletiva de Ideias e aos Círculos Esotérico e Exotérico, promovem a difusão das ideias do que faz um cientista, da visão destes e, conseqüentemente, de suas obras pelo público exotérico. Nesse meio, a compressão do fazer Ciência e da construção histórica do Fato Científico está fortemente conectada à sociedade, em uma via de mão dupla entre esses círculos.

Na avaliação da presença do ácido ribonucleico no conteúdo relativo ao Mundo de RNA, nos livros didáticos de Biologia e em livros acadêmicos, foi exposto a lacuna de elementos visuais, como fotografias associadas aos cientistas, na maioria das obras consultadas. Além de que, na tentativa de pontuar um “criador”, houve divergência entre as obras dos cientistas mencionados. Como ressalva da composição, os livros didáticos apresentaram melhor estrutura associada à História da Ciência — quando comparados aos livros acadêmicos — além de apresentar duas obras que trouxeram pesquisas atuais associadas ao Mundo de RNA.

O que remete ao produto educacional: a incorporação do conteúdo do Mundo de RNA, visando a abordagem da História da Ciência fomentada pela Epistemologia de Fleck, contribuiu com a necessidade evidente de produtos educacionais na área da BCM. A validação inicial apresentou dados positivos sobre a construção do livro digital pelos seis docentes de Ciências/Biologia, que correlacionaram o material como interdisciplinar e as sessões de História da Ciência como auxiliares na compreensão e no interesse pelo conteúdo, sendo a “Sessão Pipoca” e a “O que acontecia no Brasil” as que apresentaram como as sessões mais interessantes pelo público de validadores. Como a validação presente nessa respectiva dissertação baseou-se apenas na análise da composição do livro e não na aplicação desse, pretende-se, como trabalho futuro, a avaliação do material como apoio ao professor e ao aluno em sala de aula.

Como trabalhos futuros, sugere-se a abordagem complementar sobre as pesquisas atuais referentes ao Mundo de RNA. Como analisado nos livros didáticos do tópico 4.3, há diferentes coletivos, como dos cientistas Jack William Szostak e John David Sutherland, que estão na busca pela comprovação (em laboratório) do RNA como macromolécula precursora da vida. É possível realizar uma comparação, relacionando os trabalhos prévios com o desenvolvimento das pesquisas atuais, demonstrando como equipamentos mais avançados e a acessibilidade aos protocolos laboratoriais de diversos grupos de pesquisa espalhados pelo mundo possibilitam — e tornam mais rápido — o avanço científico.

Há também a relação com demais conteúdos atrelados ao ácido ribonucleico, como o RNA *splicing*; o RNA ribossômico (o que é; qual sua relação com os demais RNAs e sua importância na célula); dentre outros, que podem auxiliar no embasamento teórico para a compreensão do Mundo de RNA.

REFERÊNCIAS

A Christmas Carol (Temporada 6, ep. 0). **Doctor Who** [Seriado]. Direção: Toby Haynes. Produção: BBC Cymru Wales. Reino Unido: British Broadcasting Corporation (BBC), 2010.

ABELSON, John. Hildegard Lamfrom's Obituary, written by John Abelson. **Cold Spring Harbor Laboratory Archives Repository**, 1984. Disponível em: <https://libgallery.cshl.edu/items/show/62821>. Acesso em: 29 mar. 2026.

AIP Emilio Segrè Visual Archives. George Gamow Collection (s.d). **Niels Bohr Library & Archives Digital Collections**. Disponível em: <https://repository.aip.org/informal-portrait-gamow-0>. Acesso em: 29 mar. 2026.

ALBERTS, Bruce. **Biologia molecular da célula**. 6. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017.

ALPHER, Ralph Asher; BETHE, Hans; GAMOW, George. The Origin of Chemical Elements. **Physical Review**, v. 73, n. 7, abr. 1948. Disponível em: <https://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.73.803>. Acesso em: 29 mar. 2026.

ALLEN, Frank Worthington. 1941. The Biochemistry of the Nucleic Acids, Purines, and Pyrimidines. **Annual Review Biochemistry**, v. 10, p. 221-244, 1941. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.bi.10.070141.001253>. Acesso em: 29 mar. 2026.

AMOS, Linda. A.; FINCH, John. T. Aaron Klug and the revolution in biomolecular structure determination. **Trends in cell biology**, v. 14, n. 3, p. 148–152, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2004.01.002>. Acesso em: 29 mar. 2026.

Archiv für Zeitgeschichte (Thomas Schnelle). Fleck online. **ETH zürich** (s.d.). Disponível em: <https://afz.ethz.ch/ueber-uns/foerderungsnetz-und-partnerschaften/projektfoerderungen/fleck-online.html>. Acesso em: 29 mar. 2026.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BELOZERSKY, Andrey Nikolayevich. On the Species Specificity of the Nucleic Acids of Bacteria. *In*: OPARIN, Aleksandr Ivanovich; PASYNSKII, Alexander Anatolyevich; BRAUNSHERIN, Alexander Yevseyevich; PAVLOSKAYA, T.E. (Eds). **The Origin of Life on Earth**. Nova Iorque: Pergamon Press – MacMillan Company, p. 313 – 321, 1959.

BioSciences. Sung-Hou Kim Faculty Affiliate. **Berkeley Lab** (s.d.). Disponível em: <https://biosciences.lbl.gov/profiles/sung-hou-kim-2/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

BOTTINO, Alessandro; FAVERO, Cristina. **I Never Call It Big Bang, George Gamow: The Extraordinary Story of a Genius of Physics**. Singapura: World Scientific Publishing Company, 2022.

BRACHET, Jean Louis Auguste. Les Acides Nucléiques et l'Origine des Protéines. *In*: OPARIN, Aleksandr Ivanovich; PASYNSKII, Alexander Anatolyevich; BRAUNSHERIN, Alexander Yevseyevich; PAVLOSKAYA, T.E. (Eds). **The Origin of Life on Earth**. Nova Iorque: Pergamon Press – MacMillan Company, p. 313 – 321, 1959.

BRASIL. Ministério da Educação. **Guia digital PNLD 2021**: Didático. Brasília: MEC, 2020a. Disponível em: https://pnld.nees.ufal.br/assets-pnld/guias/Guia_pnld_2021_didatico_Apresentacao.pdf. Acesso em: 29 mar. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. **Guia digital PNLD 2021**: Obras didáticas por áreas do conhecimento e específicas: Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2020b. Disponível em: https://pnld.nees.ufal.br/assets-pnld/guias/Guia_pnld_2021_didatico_pnld-2021-obj2-ciencias-natureza-suas-tecnologias.pdf. Acesso em: 29 mar. 2026.

BRENNER, Sydney; JACOB, François; MESELSON, Matthew Stanley. An unstable intermediate carrying information from genes to ribosomes for protein synthesis. **Nature**, v. 190, n. 4776, p. 576–581, maio. 1961. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/190576a0>. Acesso em: 29 mar. 2026.

BREUNIG, Eduarda Tais; AMARAL, Aléxia Santos; GOLDSCHMIDT, Andréa Inês. História da ciência: revelando concepções fragmentadas a partir de imagens de cientistas. **Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v.15, n. 33, p.134-150, jun. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v15i33.6054>. Acesso em: 29 mar. 2026.

BURBIDGE, Geoffrey. Sir Fred Hoyle 24 June 1915 — 20 August 2001. **Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society**, v. 49, p. 213–247, dez. 2003. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsbm.2003.0013>. Acesso em: 29 mar. 2026.

Carl R. Woese Institute for Genomic Biology. About the IGB. **University of Illinois Urbana-Champaign**. (s.d.). Disponível em: <https://www.igb.illinois.edu/wheeler/aboutIGB/carlwoese>. Acesso em: 29 mar. 2026.

CASPERSSON, T., SCHULTZ, J. Pentose Nucleotides in the Cytoplasm of Growing Tissues. *Nature*, v. 143, p. 602–603, 1939. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/143602c0>. Acesso em: 29 mar. 2026.

Centro Federal de Pesquisa "Fundamentos da Biotecnologia" da Academia Russa de Ciências [Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН]. Александр Иванович Опарин. **Федеральный исследовательский центр**. 21 jan. 2019. Disponível em: <https://www.fbras.ru/aleksandr-ivanovich-oparin.html>. Acesso em: 29 mar. 2026.

CHONG, Jia-Rui; MAUGH II, Thomas H. Leslie Orgel, 80; chemist was father of the RNA world theory of the origin of life. **Los Angeles Times**. 31 out. 2007. Disponível em: <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-2007-oct-31-me-orgel31-story.html>. Acesso em: 29 mar. 2026.

CLARK, Brian Frederic Carl. The crystal structure of tRNA. **Journal of Biosciences**, v. 31, p. 453–457, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02705184>. Acesso em: 29 mar. 2026.

COHEN, Robert; SCHNELLE, Thomas. (Eds.) **Cognition and fact**: Materials on Ludwik Fleck. Reidel Publish Company, 1986.

Comité Pour L'Entretien des Sépultures Orthodoxes Russes. Marianne Grunberg-Manago. **Cimetière Sainte Geneviève des Bois**. 11 nov. 2023. Disponível em: <https://www.cimetiere-russe.org/en/marianne-grunberg-manago-3700>. Acesso em: 29 mar. 2026.

CONDÉ, Mauro Lúcio Leitão. **Ludwik Fleck**: estilos de pensamento na ciência. Belo Horizonte: Fino Traço, 2012.

CONDÉ, Mauro Lúcio Leitão. Mutações no Estilo de Pensamento: Ludwik Fleck e o Modelo Biológico na Historiografia da Ciência. **Revista de Filosofia Moderna e Contemporânea**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 155–186, jul. 2018. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/fmc/article/view/20236>. Acesso em: 29 mar. 2026.

CONDÉ, Mauro Lúcio Leitão. Paradigma versus estilo de pensamento na história da ciência. In: CONDÉ, Mauro Lúcio Leitão. **Ciência, História e Teoria**. Belo Horizonte: Argvmentvm, 2005. p. 123-146. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319963248_Paradigma_versus_estilo_de_pensamento_na_historia_da_ciencia. Acesso em: 29 mar. 2026.

COVENEY, Donna. Alexander Rich, the importance of RNA and the development of nucleic acid hybridization. **MIT School of Science**. 2 maio. 2018. Disponível em: <https://science.mit.edu/alex-rich/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

CRICK, Francis Harry Compton. Genetic code - yesterday today and tomorrow. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, 31: p. 3 – 9, 1966. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5237190/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

CRICK, Francis Harry Compton. On protein synthesis. **Symposia of the Society for Experimental Biology**, v. 12, p. 138–163, 1958. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13580867/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

CRICK, Francis Harry Compton. **What Mad Pursuit**: A Personal View of Science. Nova Iorque: Basic Books, 1988.

DAHM, Ralf. Friedrich Miescher and the Discovery of DNA. **Developmental Biology**, v. 278, n. 2, p. 274–288, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2004.11.028>. Acesso em: 29 mar. 2026.

DUNITZ, Jack D.; JOYCE, Gerald F. Leslie Eleazer Orgel. 12 January 1927 — 27 October 2007. **Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society**. v. 59, p. 277-289, 2013. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/42705811>. Acesso em: 29 mar. 2026.

EVDOKIMOVA, Valentina; SVITKIN, Yuri; SONENBERG, Nahum. Alexander Spirin (1931–2020): A visionary scientist, a teacher, a colleague, a friend. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 118, n. 14, p. 1–3, 2021. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/27039649>. Acesso em: 29 mar. 2026.

FIORESI, Claudia Almeida; SILVA, Henrique César da. Ciência popular, divulgação científica e Educação em Ciências: elementos da circulação e textualização de conhecimentos científicos. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 28, e22049, maio. 2022.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/9WQmc4G3Ps5RySyn8wFkRgr/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

FLECK, Ludwik. O niektórych swoistych cechach myślenia lekarskiego, *In*: WRZOSEK, Adam. **Archiwum Historii i Filozofii Medycyny oraz Historii Nauk Przyrodniczych**, v. 6, p. 55-64, 1927. Disponível em: <https://www.cybra.lodz.pl/dlibra/publication/3961/edition/3759/content>. Acesso em: 29 mar. 2026.

FLECK, Ludwik. Zur Krise der „Wirklichkeit“. **Die Naturwissenschaften**, v. 17, n. 23, p. 425 – 430, 1929. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01513488>. Acesso em: 29 mar. 2026.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. História e natureza das ciências: elementos implementados na formação de professores. *In*: SILVA, A.P.B.; MOURA, B. A. (Eds.). **Objetivos humanísticos, conteúdos científicos**: contribuições da história e da filosofia da ciência para o ensino de ciências [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2019, p. 227-263.

FRAENKEL-CONRAT, Heinz Ludwig; SINGER, Breahna. The Infective Nucleic Acid from Tobacco Mosaic Virus. *In*: OPARIN, Aleksandr Ivanovich; PASYNSKIL, Alexander Anatolyevich; BRAUNSHERIN, Alexander Yevseyevich; Pavloskaya T.E. (Eds). **The Origin of Life on Earth**. Nova Iorque: Pergamon Press – MacMillan Company, p. 303 - 306, 1959.

FRANKLIN, Rosalind Elsie; GOSLING, Raymond George. Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate. **Nature**, v. 171, n. 4356, p. 740–741, abr. 1953. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/171740a0>. Acesso em: 29 mar. 2026.

FRIEDBERG, Errol. Sydney Brenner (1927-2019). **Nature**, v. 568, p. 459, abr. 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01192-9>. Acesso em: 29 mar. 2026.

FUKUI, Ana; AGUILAR, João Batista; MOLINA, Madson; OLIVEIRA, Venerando Santiago de. **Ser protagonista**: ciências da natureza e suas tecnologias: evolução, tempo e espaço: ensino médio. 1. ed. São Paulo: Edições SM, 2020.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILBERT, Walter. Origin of life: The RNA world. **Nature**, v. 319, p. 618, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/319618a0>. Acesso em: 29 mar. 2026.

GODOY, Leandro Pereira de; AGNOLO, Rosana Maria Dell; MELO, Wolney Candido de. **Multiversos**: ciências da natureza: origens: ensino médio. 1. ed. São Paulo: FTD, 2020.

GROS, François; HIATT, Howard; GILBERT, Walter; KURLAND; Charles Gabriel; RISEBROUGH, R. W; WATSON, James Dewey. Unstable ribonucleic acid revealed

by pulse labelling of *Escherichia coli*. **Nature**, v. 190, p. 4776, p. 581–585, maio. 1961. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/190581a0>. Acesso em: 29 mar. 2026.

GRUNBERG-MANAGO, Marianne. Severo Ochoa 24 September 1905 - 1 November 1993. **Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society**, v. 43, p. 351 – 365, nov. 1997. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rsbm.1997.0020>. Acesso em: 29 mar. 2026.

GRUNBERG-MANAGO, Marianne; OCHOA, Severo. Enzymatic synthesis and breakdown of polynucleotides; polynucleotide phosphorylase. **Journal of the American Chemical Society**, v. 77, n. 11, p. 3165–3166, jun. 1955. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja01616a093>. Acesso em: 29 mar. 2026.

GRUNBERG-MANAGO, Marianne; ORTIZ, Priscilla J.; OCHOA, Severo. Enzymatic Synthesis of Nucleic Acidlike Polynucleotides. **Science**, v. 122, n. 3176, p. 907–910, nov. 1955. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.122.3176.907>. Acesso em: 29 mar. 2026.

GRZYBOWSKI, Andrzej; CIESIELSKA, Maria. Lesser known aspects of Ludwik Fleck's (1896-1961) heroic life during World War II. **Journal of medical biography**, v. 24, n. 3, p. 402–408, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0967772014532893>. Acesso em: 29 mar. 2026.

GRZYBOWSKI, Andrzej. Ludwik Fleck (1896-1962) and his contribution to dermatology. **Clinics in Dermatology**, v. 30, n. 6, p. 663 – 667, 2012. Disponível em: [https://www.cidjournal.com/article/S0738-081X\(12\)00083-1/fulltext](https://www.cidjournal.com/article/S0738-081X(12)00083-1/fulltext). Acesso em: 29 mar. 2026.

HARRISON, Jim. Jack Szostak pursues the biggest questions on Earth: Jack Szostak's pursuit of the biggest questions on Earth. **Harvard Magazine**. 7 jun. 2019. Disponível em: <https://www.harvardmagazine.com/2019/06/origin-life-earth>. Acesso em: 29 mar. 2026.

HOAGLAND, Mahlon Bush; STEPHENSON, Mary Louise; SCOTT, Jesse F.; HECHT, Liselotte I.; ZAMECNIK, Paul Charles. A soluble ribonucleic acid intermediate in protein synthesis. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 231, n. 1, p. 241–257, 1958. Disponível em: [https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(19\)77302-5/pdf](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(19)77302-5/pdf). Acesso em: 29 mar. 2026.

HOOPEs, Laura. Credit Bypasses the Woman Scientist. **Nature Education**. 6 maio. 2010. Disponível em: <https://www.nature.com/scitable/forums/women-in-science/credit-bypasses-the-woman-scientist-10017014/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

Institut Pasteur/Archives. Death of Professor François Gros, on February 18, 2022. **The Institut Pasteur**. 21 fev. 2022. Disponível em: <https://www.pasteur.fr/en/press-area/press-documents/death-professor-francois-gros-february-18-2022>. Acesso em: 29 mar. 2026.

JACOB, François; MONOD, Jacques Lucien. Gènes de structure et gènes de régulation dans la biosynthèse des protéines. **Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 249, p. 1282–1284, 1959. Disponível em:

https://as.amphilsoc.org/repositories/2/archival_objects/522535. Acesso em: 29 mar. 2026.

JOSHI, Tripti. Kim Sung Hou. **Alchetron**. 23 set. 2024. Disponível em: <https://alchetron.com/Kim-Sung-Hou>. Acesso em: 29 mar. 2026.

KAISER, Chris. Alexander Rich, the importance of RNA and the development of nucleic acid hybridization. **MIT School of Science**. 2 maio. 2018. Disponível em: <https://science.mit.edu/alex-rich/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

KAY, Lily E. **Who Wrote the Book of Life?: A History of the Genetic Code**. Califórnia: Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University, 2000.

KIM, Sung-Hou; QUIGLEY, G. J.; SUDDATH, F. L.; MCPHERSON, A.; SNEDEN, D.; KIM, J. J.; WEINZIERL, J.; RICH, Alexander. Three-Dimensional Structure of Yeast Phenylalanine Transfer RNA: Folding of the Polynucleotide Chain. **Science**, v. 179, p. 285-288, 1973. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.179.4070.285>. Acesso em: 29 mar. 2026.

KRAGH, Helge. **Introdução à Historiografia da Ciência**. Portugal: Porto, 2003.

KRASILCHIK, Myriam. **Prática de ensino de biologia**. 4. ed. São Paulo: Editora da USP, 2004.

KRESGE, Nicole; SIMONI, Robert D.; HILL, Robert L. The Mechanism of Amino Acid Activation: the Work of Mahlon Hoagland. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 284, n. 25, p. e7, jun. 2009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021925818665548>. Acesso em: 29 mar. 2026.

La rédaction de l'INA. 1964: François Gros reproduit l'expérience qui lui a permis de découvrir l'ARN messager. **L'INA éclaire l'actu**. 21 fev. 2022. Disponível em: <https://www.ina.fr/ina-eclaire-actu/1964-francois-gros-reproduit-l-experience-qui-lui-a-permis-de-mettre-en-evidence-l-arn-messenger>. Acesso em: 29 mar. 2026.

LAMFROM, Hildegard. Factors determining the specificity of hemoglobin synthesized in a cell-free system. **Journal of Molecular Biology**, v. 3, n. 3, p. 241–252, 1961. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0022-2836\(61\)80064-8](https://doi.org/10.1016/s0022-2836(61)80064-8). Acesso em: 29 mar. 2026.

LEITE, Laurinda. History of Science in Science Education: Development and Validation of a Checklist for Analysing the Historical Content of Science Textbooks. **Science & Education**, v. 11, n. 4, p. 333–359, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/a:1016063432662>. Acesso em: 29 mar. 2026.

LILJESTRAND, Göran. **Les Prix Nobel en 1959**. Stockholm: Nobel Foundation, 1960.

LMB News. Sydney Brenner (1927 – 2019). **MRC Laboratory of Molecular Biology (LMB)**. 5 abr. 2019. Disponível em: <https://www2.mrc-lmb.cam.ac.uk/sydney-brenner-1927-2019/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. **Ciências da natureza**: Lopes & Rosso. 1. ed. v. 1. São Paulo: Moderna, 2020.

LÖWY, Ilana. Fleck e a Historiografia Recente da Pesquisa Biomédica. *In*: PORTOCARRERO, Vera. **Filosofia, História e Sociologia das Ciências**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2002. 269p.

LÖWY, Ilana. Ludwik Fleck e a presente história das Ciências. **História, Ciências, Saúde** – Manguinhos, v. 1, n. 1, p. 7-18, jul/out. 1994. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hcsm/a/C8WDrxMNvW6nG69mXdbGt5N/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

LÖWY, Ilana. Ludwik Fleck on the social construction of medical knowledge. **Sociology of Health & Illness**, v. 10, n. 2, p. 133-155, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1467-9566.ep11435448>. Acesso em: 29 mar. 2026.

LOZADA, Gisele; NUNES, Karina da Silva. **Metodologia científica**. Porto Alegre: Sagah, 2019.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 112 – 131, abr. 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6056>. Acesso em: 29 mar. 2026.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-73132005000200011>. Acesso em: 29 mar. 2026.

MASSONI, Neusa Teresinha; MOREIRA, Marco Antonio. A Epistemologia de Fleck: Uma Contribuição ao Debate sobre a Natureza da Ciência. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.8, n.1, p.237-264, maio. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2015v8n1p237>. Acesso em: 29 mar. 2026.

MATTHEWS, Michael. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 164–214, dez. 1995. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084>. Acesso em: 29 mar. 2026.

MAZZUTTI, Gabriela Dalzoto. **Abordagem histórico-filosófica da biologia celular e molecular: a discrepância presente nos livros didáticos**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2023.

MILLS, Evanna; O'NEILL, Luke. Succinate: a metabolic signal in inflammation. **Trends in Cell Biology**. v. 24, n. 5, p. 313 - 320, maio. 2014. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/cell-biology/abstract/S0962-8924\(13\)00221-3](https://www.cell.com/trends/cell-biology/abstract/S0962-8924(13)00221-3). Acesso em: 29 mar. 2026.

MILLI, Júlio César Lemos; GEHLEN, Simoni Tormöhlen; MARQUES, Carlos Alberto. A Melodia do Silêncio na Harmonia das Ilusões: Funções e Expressões na

Educação em Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], p. e41473, 1–31, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/41473>. Acesso em: 29 mar. 2026.

MIESCHER, Johann Friedrich. **Über die chemische Zusammensetzung der Eiterzellen**. Berlim: August Hirschwald, 1871.

MORAES, Roque. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4125089/mod_resource/content/1/Roque-Moraes_Analise%20de%20conteudo-1999.pdf. Acesso em: 29 mar. 2026.

MORANGE, Michel. François Jacob (1920–2013). **Nature**, v. 497, p. 440, maio. 2013. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/497440a#citeas>. Acesso em: 29 mar. 2026.

MORTIMER, Eduardo *et al.* **Matéria, Energia e Vida: O Universo, a Terra e a vida**. 1 ed. São Paulo: Editora Scipione, 2020.

MOURA, Joseane; DEUS, Maria do Socorro Meireles de; GONÇALVES, Nilda Masciel Neiva; PERON, Ana Paula. Biologia/genética: o ensino de biologia, com enfoque a genética, das escolas públicas no Brasil – breve relato e reflexão. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 34, n. 2, p. 167-174, jul/dez. 2013. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/seminabio/article/view/13398/13912>. Acesso em: 29 mar. 2026.

MRC Laboratory of Molecular Biology. John Sutherland co-wins the Origin of Life Challenge. **Site oficial MRC Laboratory of Molecular Biology (LMB)**. 8 jun. 2012. Disponível em: <http://www2.mrc-lmb.cam.ac.uk/john-sutherland-co-wins-the-origin-of-life-challenge/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

NELSON, David L.; COX, Michael M.; HOSKINS, Aaron A. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. v.1. 8. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2022.

Nobel Foundation archive. Nobel Prize in Physiology or Medicine 1959. **The Nobel Prize**. s.d. 1959. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1959/summary/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

Nobel Foundation archive. Nobel Prize in Physiology or Medicine 1962. **The Nobel Prize**. 1962. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1962/summary/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

Nobel Lectures. **Physiology or Medicine 1963-1970**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1972.

NOLLER, Harry. Carl Woese (1928–2012). **Nature**, v. 493, p. 610, 2013. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/493610a>. Acesso em: 29 mar. 2026.

OCHOA, Severo. The Pursuit of a Hobby. **Annual Review Biochemistry**, v. 49, p. 1-30, 1980. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6773467/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

O'DONNELL, Erin. Jack Szostak pursues the biggest questions on Earth: Jack Szostak's pursuit of the biggest questions on Earth. **Harvard Magazine**. 7 jun. 2019. Disponível em: <https://www.harvardmagazine.com/2019/06/origin-life-earth>. Acesso em: 29 mar. 2026.

OPARIN, Aleksandr Ivanovich; PASYNSKII, Alexander Anatolyevich; BRAUNSHERIN, Alexander Yevseyevich; Pavloskaya T.E. (Eds). **The Origin of Life on Earth**. Nova Iorque: Pergamon Press/MacMillan Company, 1959.

ORGEL, Leslie Eleazer. Evolution of the genetic apparatus. **Journal of Molecular Biology**, v. 38, n. 3, p. 381–393, 1968. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5718557/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

PARREIRAS, Marcia Maria Martins. **Ludwik Fleck e a historiografia da ciência: diagnóstico de um estilo de pensamento segundo as ciências da vida**. 2006. Dissertação (Mestrado em História) – Programa de Pós-Graduação em História, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PAULING, Linus Carl; COREY, Robert B. A Proposed Structure For The Nucleic Acids. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 39, n. 2, p. 84-97, fev. 1953. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.39.2.84>. Acesso em: 29 mar. 2026.

PEDERSON, Thoru. Paul C. Zamecnik (1912–2009). **Nature**, v. 462, n. 26, nov. 2009. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/462423a>. Acesso em: 29 mar. 2026.

PEREIRA, Gabriela Lanza De Castro; MESQUITA, Ana Flávia Silva; BARROS, Marcelo Diniz Monteiro de. Análise dos conteúdos de biologia molecular em livros didáticos de biologia do ensino médio. **Revista Teias**, v. 24, n. 73, p. 274 – 289, abr./jun. 2023. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/revistateias/article/view/65899>. Acesso em: 29 mar. 2026.

PERRIGUE, Patrick M.; ERDMANN, Volker A.; BARCISZEWSKI, Jan. Alexander Rich: In Memoriam. **Trends in Biochemical Sciences**, v. 40, n. 11, p. 623 – 624, 2015. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/biochemical-sciences/fulltext/S0968-0004\(15\)00161-9](https://www.cell.com/trends/biochemical-sciences/fulltext/S0968-0004(15)00161-9). Acesso em: 29 mar. 2026.

PETIT, Christine; KOURILSKY, Philippe. François Gros (1925–2022). **Comptes Rendus Biologies**. v. 346, Numéro spécial S2, p. 3-8, 2023. Disponível em: <https://comptes-rendus.academie-sciences.fr/biologies/item/10.5802/crbio.146.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2026.

POWNER, Matthew W.; SUTHERLAND, John D. Prebiotic chemistry: a new modus operandi. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 366, n. 1580, p. 2870-2877, 2011. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3158916/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

Reed Magazine. From wartime welder to molecular biologist Hildegard Lamfrom '43 (s.d.). **Reed Magazine Obituaries**. Disponível em: https://www.reed.edu/reed-magazine/in-memorial/obituaries/_online_only/hildegard-lamfrom-1943.html. Acesso em: 29 mar. 2026.

RICH, Alexander. On the problems of evolution and biochemical information transfer. In: KASHA, M; PULLMAN, B. **Horizons In Biochemistry**. Nova Iorque: Academic Press, pp 103–126, 1962.

RIZZATTI, Ivanise Maria; MENDONÇA, Andrea Pereira; MATTOS, Francisco; RÔÇAS, Giselle; SILVA, Marcos André B. Vaz da; CAVALCANTI, Ricardo Jorge de S.; OLIVEIRA, Rosemary Rodrigues de. Os produtos e processos educacionais dos programas de pós-graduação profissionais: proposições de um grupo de colaboradores. **Actio: Docência em Ciências**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 1-17, 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/actio/article/view/12657>. Acesso em: 29 mar. 2026.

ROBERTUS, J. D.; LADNER, J. E.; FINCH, J. T.; RHODES, D.; BROWN, R. S.; CLARK, B. F.; KLUG, A. (1974). Structure of yeast phenylalanine tRNA at 3 Å resolution. **Nature**, v. 250, n. 467, p. 546–551, 1974. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/250546a0>. Acesso em: 29 mar. 2026.

SOUZA, Ronilson Freitas de; ROSA, Maria Fabiana Sousa. Processo de construção e validação de um produto educacional para o ensino de ciências utilizando a aprendizagem baseada em projetos aliada aos pressupostos freireanos. **Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, Brasil, v. 9, n. jan./dez., p. e213323, 2023. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/2133>. Acesso em: 29 mar. 2026.

SANTOS, Fernanda Roberta Correa Cleto dos. **O conhecimento de biologia celular e molecular nos livros didáticos de biologia do ensino médio: potencialidades para a alfabetização científica e tecnológico**. 2021. Dissertação (Mestrado em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

SANTOS, Julio Sérgio dos. Os conteúdos de biologia celular: as opiniões dos alunos sobre o ensino e avaliação. **Revista Areté, Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, [S.l.], v. 12, n. 26, p. 142 - 155, jan. 2020. Disponível em: <https://periodicos.uea.edu.br/index.php/arete/article/view/1669>. Acesso em: 29 mar. 2026.

SCHÄFER, Lothar; SCHNELLE, Thomas. Introdução: fundamentação da perspectiva sociológica de Ludwik Fleck na teoria da ciência. In: FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

SCHALLENBERGER, Karoline; SOARES, Natalia Aparecida. O ensino de Biologia Celular e Molecular na formação inicial docente a partir do método Team-based-learning. **Journal of Biochemistry Education**, v. 20, n. 1, ago. 2020. Disponível em: <https://www.bioquimica.org.br/index.php/REB/article/download/900/733/2771>. Acesso em: 29 mar. 2026.

SCHWEET, Richard; LAMFROM, Hildegard; ALLEN, Esther. The synthesis of hemoglobin in a cell-free system. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 44, n. 10, p. 1029-1035, 1958. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.44.10.1029>. Acesso em: 29 mar. 2026.

SCHIMMEL, Paul. Alexander Rich (1924–2015). **Nature**, v. 521, p. 291, maio. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/521291a>. Acesso em: 29 mar. 2026.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 1. ed. São Paulo: Cortez, 2013.

SILVA SÁ, Giulian César da; SILVA, Leidiane Barboza; SANTOS, Elizeu Antunes dos; UCHÔA, Adriana Ferreira. From the application of active teaching methods to significant learning in Cellular and Molecular Biology: exploring possibilities with Problem Based Learning. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 19, n. 1, 1–15, jul. 2021. Disponível em: <https://www.bioquimica.org.br/index.php/REB/article/view/928>. Acesso em: 29 mar. 2026.

SKULACHEV, Vladimir. Учёный, стратег и конспиратор: Академик Андрей Белозерский. Неизвестные Штрихи К Портрету Гения. **Кот Шрёдингера**. 2016. Disponível em: <https://archive.kot.sh/statya/1794/uchyonny-strateg-i-konspirator>. Acesso em: 29 mar. 2026.

SOUSA, José Ramos de; COSTA, Priscila Rosa Bandeira da; SGARBI, Antonio Donizetti. História e Filosofia da Ciência no contexto do Ensino de Ciências: um olhar a partir da produção *Stricto Sensu* brasileira. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 25 especial, p. 122-139, set. 2022. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/57830>. Acesso em: 29 mar. 2026.

SOUZA, Isis Lidiane Norato de. **A construção coletiva da ligação covalente por Linus Pauling, Gilbert Lewis, Irving Langmuir**: um estudo sobre a emergência de um fato científico. 2020. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Setor de Ciências Exatas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

SOUZA, Isis Lidiane Norato de; AIRES, Joanez Aparecida. Potencialidade da obra de Fleck para a área de educação em ciências. *Actio: Docência em ciências*. In: **Anais da III Semana das Licenciaturas**, Curitiba, out., p. 1-13, 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/actio/article/view/10751>. Acesso em: 29 mar. 2026.

SOUZA, Isis Lidiane Norato de. **Episódios históricos como estratégia didática no ensino de ciências**: a natureza da ciência sob o olhar fleckiano. 2025. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Setor de Ciências Exatas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2025.

SPIRIN, Alexander Sergeevich; BELOZERSKY, Andrey Nikolayevich; SKULACHEV, Vladimir Petrovich; VANYUSHIN, Boris F. Изучение видовой специфичности нуклеиновых кислот у бактерий. **Биохимия**, v. 22, n. 4, p. 744–754, 1957.

Disponível em: <https://biochemistrymoscow.com/ru/archive/1957/22-04-0744/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

STANLEY, Wendell Meredith. On the nature of viroses, genes and life. *In*: OPARIN, Aleksandr Ivanovich; PASYNSKII, Alexander Anatolyevich; BRAUNSHERIN, Alexander Yevseyevich; PAVLOSKAYA, T.E. (Eds). **The Origin of Life on Earth**. Nova Iorque: Pergamon Press – MacMillan Company, p. 313 – 321, 1959.

SULLIVAN, Gail M.; ARTINO JUNIOR, Anthony R. Analyzing and interpreting data from likert-type scales. **Journal of Graduate Medical Education**, v. 5, n. 4, p. 541-542, 2013. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3886444/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

The New York Times. Andrei Belozersky, A Soviet Biochemist. **The Times's print archive**. 3 jan. 1973. Disponível em: <https://www.nytimes.com/1973/01/03/archives/andrei-belozersky-a-soviet-biochemist.html>. Acesso em: 29 mar. 2026.

TODISCO, Marco; DING, Dian; SZOSTAK, Jack W. Transient states during the annealing of mismatched and bulged oligonucleotides. **Nucleic Acids Research**, v. 52, n. 5, p. 2174-2187, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10954449/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

TONOLLI, Paulo Newton; FRANCO, Fernando Faria; SILVA, Antônio Fernando Gouvêa. A construção histórica do conceito de enzima e sua abordagem em livros didáticos de biologia. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, Rio de Janeiro, v. 28, n.3, p.727-744, jul/set. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hcsm/a/nCzVpjdWPTFRVyy9shFKQ7f>. Acesso em: 29 mar. 2026.

Universidade de Chicago. Szostak Lab Learns the Dance of RNA Replication Process. **Universidade de Chicago**: Departamento de Química. 7 mar. 2024. Disponível em: <https://chemistry.uchicago.edu/news/szostak-lab-learns-the-dance-of-rna-replication-process>. Acesso em: 29 mar. 2026.

VIOQUE, Agustín. Marianne Grunberg-Manago (1921 - 2013). **Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular**. Galería de Retratos Women In Biochemistry. jan. 2012. Disponível em: https://sebbm.es/wp-content/uploads/pdf-_marianne_final_revisado.pdf. Acesso em: 29 mar. 2026.

WATSON, James Dewey. **Avoid Boring People**: Lessons from a Life in Science. Reino Unido: Oxford University Press, 2007.

WOESE, Carl Richard; OLSEN, Gary J.; IBBA, Michael; SÖLL, Dieter Gerhard. Aminoacyl-tRNA synthetases, the genetic code, and the evolutionary process. **Microbiology and molecular biology reviews**: MMBR, v. 64, n. 1, p. 202–236, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/MMBR.64.1.202-236.2000>. Acesso em: 29 mar. 2026.

WOESE, Carl Richard. Evolving biological organization. *In*: SAPP, Jan (ed.). **Microbial Phylogeny and Evolution: Concepts and Controversies**: Concepts and Controversies, pp. 99–117. Nova Iorque: Oxford University Press, 2005.

WOESE, Carl Richard. Evolving Biological Organization. *In*: SAPP, Jan. **Microbial Phylogeny and Evolution: Concepts and Controversies**. Oxford University Press, p. 99–117, 2005.

WOESE, Carl Richard. **The Genetic Code: The Molecular Basis for Genetic Expression**. Nova Iorque: Harper & Row, 1967.

ZANON, Dulcimeire Aparecida Volante; MACHADO, Adriana Teixeira. A visão do cotidiano de um cientista retratada por estudantes iniciantes de licenciatura em química. **Ciências & Cognição**, v. 18, n. 1, p. 46-56, abr. 2013. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-58212013000100004&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 29 mar. 2026.

ZAHA, Arnaldo; FERREIRA, Henrique B.; PASSAGLIA, Luciane M. P. **Biologia molecular básica**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2014.

ЕРОХИНА, Татьяна. Опарин. Ученый и человек. **Государственное автономное учреждение культуры Ярославской области**. 2022. Disponível em: https://uglmus.ru/about/publics/oparin_uchenii_i_chelovek/. Acesso em: 29 mar. 2026.

ANEXO A - Plano de ensino da disciplina Biologia Celular 1



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa



**Informações da disciplina
por Conteúdo**

Código Ofertado	Disciplina/Unidade Curricular	Modo de Avaliação	Modalidade da disciplina	Oferta
CB51G	Biologia Celular 1	Nota/Conceito E Frequência	Presencial	Semestral

Carga Horária							
AT	AP	APS	ANP	APCC	CHEAD	CHE	Total
2	0	0	0	0	0	0	30
• AT: Atividades Teóricas (aulas semanais). • AP: Atividades Práticas (aulas semanais). • ANP: Atividades não presenciais (horas no período). • APS: Atividades Práticas Supervisionadas (aulas no período). • APCC: Atividades Práticas como Componente Curricular (aulas no período, esta carga horária está incluída em AP e AT). • CHEAD: Carga horária total em EAD • CHE: Carga horária total extensionista. • Total: Carga horária total da disciplina em horas.							

Objetivo	
Ao final da disciplina o aluno deverá: compreender a relação essencial entre elementos químicos e as principais biomoléculas inerentes a vida, bem como estabelecer associação entre as biomoléculas e o Dogma central da biologia celular e molecular.	
Ementa	
Elementos químicos fundamentais à vida celular: Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio, Fósforo, Enxofre, Cálcio, Potássio, Ferro, Cloro, Sódio, Magnésio. Bases Moleculares da Vida; A origem da vida; Dogma central da biologia molecular: DNA, RNA e proteínas; Organização da célula procariota e eucariota. O ensino de Biologia Celular na educação básica.	
Conteúdo Programático	
Ordem	Conteúdo
1	Elementos químicos fundamentais à vida celular.
2	A origem da vida
3	Dogma central da biologia molecular:
4	Organização da célula procariota e eucariota.

Ordem	Ementa	Conteúdo
5	O ensino de Biologia Celular na educação básica.	Elaboração de materiais didáticos voltados ao ensino de biologia celular na educação básica.

Bibliografia Básica	
NELSON, David L.; COX, Michael M.; LEHNINGER, Albert L. Princípios de bioquímica de Lehninger . 7. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2018. 1312 p. ISBN 9788582715345. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582715345/pageid/0	
ALBERTS, Bruce et al. Biologia molecular da célula . 6. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017. 1464 p. ISBN 9788582714232. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582714232/pageid/0	
JUNQUEIRA, Luiz Carlos Uchôa; CARNEIRO, José. Biologia celular e molecular . 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2012. 364 p. ISBN 978-85-277-2129-5. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-277-2129-5/pageid/0	

Bibliografia Complementar	
ZAHA, ARNALDO; FERREIRA, HENRIQUE Bunselmeyer, Passaglia, Luciane M. P. Biologia molecular básica , 5ª Ed. Artmed, Porto Alegre, RS. 2014. ISBN 9788582710586. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788582710586	
GIRARDI, Carolina S.; SUBTIL, Fernanda T.; RANGEL, Juliana O. Biologia molecular . Porto Alegre, RS: Grupo A, 2018. ISBN 9788595026995. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595026995/pageid/0	
De Robertis, Edward M., Hib, José. Biologia Celular e Molecular . 16. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2014. 372 p. ISBN 978-85-277-2386-2. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/978-85-277-2386-2	
Alberts, Bruce, Bray, Dennis; Hopkin, Karen. Fundamentos da Biologia Celular . 4. ed. Porto Alegre, RS: ArtMed, 2017. 864 p. ISBN: 9788582714065. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788582714065	
ROMÃO, José E. Avaliação Dialógica – Desafios e Perspectivas . 6.ed. Cortez, 2005. ISBN 8524917717	

#	Resumo da Alteração	Edição	Data	Aprovação	Data
1	Biologia celular 1 (CB51G) nova matriz curricular	Marcio Silva	28/02/2024	Danislei Bertoni	28/02/2024

ANEXO B - Plano de ensino da disciplina Biologia Celular 2



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa



**Informações da disciplina
por Conteúdo**

Código Ofertado	Disciplina/Unidade Curricular	Modo de Avaliação	Modalidade da disciplina	Oferta
CB52H	Biologia Celular 2	Nota/Conceito E Frequência	Presencial	Semestral

Carga Horária							
AT	AP	APS	ANP	APCC	CHEAD	CHE	Total
2	2	0	0	0	0	0	60
• AT: Atividades Teóricas (aulas semanais). • AP: Atividades Práticas (aulas semanais). • ANP: Atividades não presenciais (horas no período). • APS: Atividades Práticas Supervisionadas (aulas no período). • APCC: Atividades Práticas como Componente Curricular (aulas no período, esta carga horária está incluída em AP e AT). • CHEAD: Carga horária total em EAD. • CHE: Carga horária total extensionista. • Total: Carga horária total da disciplina em horas.							

Objetivo		
Geral: Ao final da disciplina o aluno deverá: compreender a estrutura geral das células biológicas, correlacionando-as com componentes ultra estruturais; perceber as imbricadas interações moleculares necessárias para o funcionamento celular; entender as organelas celulares e a fisiologia celular; relacionar a biotecnologia ao cotidiano. Específicos: Promover um melhor entendimento sobre o funcionamento da célula considerando as biomoléculas, organelas, metabolismo energético e ciclo celular; Apresentar as principais técnicas envolvendo biotecnologia e engenharia genética que permeiam o cotidiano atual dos educandos; Gerar um ambiente favorável à discussão interdisciplinar envolvendo as demais disciplinas do primeiro período do curso.		
Ementa		
Aspectos morfológicos e funcionais da célula, de seus compartimentos e componentes subcelulares: lisossomos, peroxissomos, cloroplastos, mitocôndrias, retículos endoplasmáticos, complexo golgiense e ribossomos. O núcleo celular: núcleo interfásico: estrutura, composição química e ação gênica; estrutura e função do citoesqueleto. Sinalização celular e morte celular programada. Estudos de mecanismos de divisão celular: mitose e meiose. Noções de biotecnologia: Engenharia genética; tecnologia do DNA recombinante. O ensino de Biologia Celular na educação básica.		
Conteúdo Programático		
Ordem	Ementa	Conteúdo
1	Introdução ao estudo da célula.	A teoria celular; Visualização de células

Ordem	Ementa	Conteúdo
		e origens da base citológica;
2	Organização celular em organismos procariontes e eucariontes.	Particularidades e diferenças entre organismos procariontes e eucariontes.
3	Movimentos celulares.	Estrutura e função do citoesqueleto
4	Estrutura e função das organelas celulares.	Lisossomos, peroxissomos, cloroplastos, mitocôndrias, retículos endoplasmáticos, complexogolgiense e ribossomos
5	O núcleo da célula.	Núcleo interfásico: estrutura, composição química e ação gênica; Transcrição e tradução da informação genética.
6	Sinalização celular e morte celular programada.	Mensageiros bioquímicos envolvidos na sinalização celular (proteínas e açúcares); apoptose.
7	Noções de biotecnologia.	Engenharia genética; tecnologia do DNA recombinante.
8	O ensino de biologia celular na educação básica.	Elaboração de material didático e sugestões de roteiros para aulas práticas voltadas ao ensino de biologia celular no ensino básico.

Bibliografia Básica
ALBERTS, Bruce <i>et al.</i> Biologia molecular da célula . 5. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2010. xxxvi, 1268 [90] p. ISBN 9788536320663.
DE ROBERTIS, E. M. F.; HIB, José. Bases da biologia celular e molecular . 4. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2006. 389 p. ISBN 9788527712033.
ZAHA, Arnaldo ; FERRERA, Henrique Bunselmeyer ; PASSAGLIA, Luciane M.P. (org.). Biologia molecular básica . 5.ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2014. xii, 403 p. ISBN 9788582710579.

Bibliografia Complementar
GADOTTI, Moacir ; ROMÃO, José E. (org.). Educação de jovens e adultos: teoria, prática e proposta . 12. ed. São Paulo, SP: Cortez, 2011. 160 p. (Guia da escola cidadã, 5). ISBN 9788524917127.
JUNQUEIRA, Luiz Carlos Uchoa; CARNEIRO, José. Biologia celular e molecular . 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, c1997. 299 p. ISBN 8522704099.
NELSON, David L.; COX, Michael M.; LEHNINGER, Albert L. Princípios de bioquímica de Lehninger . 5. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2011. xxx, 1273 p. ISBN 9788536324180.
SOTARD, Michel; ROMÃO, José Eustáquio ; RODRIGUES, Verone Lane (org.). Jean-Jacques Rousseau . Recife, PE: Fundação Joaquim Nabuco: Massangana, 2010. 97 p. (Coleção educadores MEC). ISBN 9788570195449.
SOARES, José Luís. Biologia . São Paulo, SP: Scipione, 1992. 3 v. ISBN 8526217968.

#	Resumo da Alteração	Edição	Data	Aprovação	Data
1	inclusão plano ensino biologia celular 2	Marcio Silva	18/09/2024	Danislei Bertoni	19/09/2024

ANEXO C - Plano de ensino da disciplina Biologia Celular e Molecular e Noções de Biotecnologia



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa



**Informações da disciplina
por Conteúdo**

Código Ofertado	Disciplina/Unidade Curricular	Modo de Avaliação	Modalidade da disciplina	Oferta
CB31A	Biologia Celular E Molecular E Noções De Biotecnologia	Nota/Conceito E Frequência	Presencial	Semestral

Carga Horária							
AT	AP	APS	ANP	APCC	CHEAD	CHE	Total
4	2	6	0	0	0	0	90
• AT: Atividades Teóricas (aulas semanais). • AP: Atividades Práticas (aulas semanais). • ANP: Atividades não presenciais (horas no período). • APS: Atividades Práticas Supervisionadas (aulas no período). • APCC: Atividades Práticas como Componente Curricular (aulas no período, esta carga horária está incluída em AP e AT). • CHEAD: Carga horária total em EAD. • CHE: Carga horária total extensionista. • Total: Carga horária total da disciplina em horas.							

Objetivo
Geral: Ao final da disciplina o aluno deverá: compreender a estrutura geral das células biológicas, reconhecendo os principais grupos de biomoléculas, correlacionando-os com componentes ultra estruturais; perceber as imbricadas interações moleculares necessárias para o funcionamento celular; entender as organelas celulares e a fisiologia celular; relacionar a biotecnologia ao cotidiano. Específicos: Demonstrar que os elementos químicos que constituem as células não são exclusivos dos seres vivos. Enfatizar que tais elementos estão sujeitos as mesmas leis da química e física presentes em sistemas abióticos; Promover um melhor entendimento sobre o funcionamento da célula considerando as biomoléculas, organelas, metabolismo energético e ciclo celular; Apresentar as principais técnicas envolvendo biotecnologia e engenharia genética que permeiam o cotidiano atual dos educandos; Gerar um ambiente favorável à discussão interdisciplinar envolvendo as demais disciplinas do primeiro período do curso.
Ementa
Introdução ao estudo da célula. Visualização de células e origens da base citológica. Organização celular em organismos procariontes e eucariontes. O estudo das membranas biológicas: composição e modelo de membrana; Transporte através de membrana;

26/03/2026, 19:49

Informações da disciplina - <i>por Conteúdo</i>

Especializações de membranas. Movimentos celulares: estrutura e função do citoesqueleto. Estrutura e função das organelas celulares: lisossomos, peroxissomos, cloroplastos, mitocôndrias, retículos endoplasmáticos, complexo golgiense e ribossomos. O núcleo da célula: núcleo interfásico: estrutura, composição química e ação gênica. Sinalização celular e morte celular programada. Estudos de mecanismos de divisão celular: mitose e meiose. Noções de biotecnologia: Engenharia genética; tecnologia do DNA recombinante. O ensino de biologia celular na educação básica.

Conteúdo Programático

Ordem	Ementa	Conteúdo
1	Introdução ao estudo da célula.	A teoria celular; Visualização de células e origens da base citológica; aspectos gerais da composição química e macromolecular das células
2	Organização celular em organismos procariontes e eucariontes.	Particularidades e diferenças entre organismos procariontes e eucariontes.
3	O estudo das membranas biológicas.	Composição e modelo de membrana; Transporte através de membrana; Especializações de membranas.
4	Movimentos celulares.	Estrutura e função do citoesqueleto
5	Estrutura e função das organelas celulares.	Lisossomos, peroxissomos, cloroplastos, mitocôndrias, retículos endoplasmáticos, complexo golgiense e ribossomos
6	O núcleo da célula.	Núcleo interfásico: estrutura, composição química e ação gênica; Transcrição e tradução da informação genética.
7	Sinalização celular e morte celular programada.	Mensageiros bioquímicos envolvidos na sinalização celular (proteínas e açúcares); apoptose.
8	Noções de biotecnologia.	Engenharia genética; tecnologia do DNA recombinante.
9	O ensino de biologia celular na educação básica.	Elaboração de material didático e sugestões de roteiros para aulas práticas voltadas ao ensino de biologia celular no ensino básico.

Bibliografia Básica

ALBERTS, Bruce et al. **Biologia molecular da célula**. 6. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017. 1464 p. ISBN 9788582714232. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582714232/pageid/0>

NELSON, David L.; COX, Michael M.; LEHNINGER, Albert L. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 7. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2018. 1312 p. ISBN 9788582715345. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582715345/pageid/0>

JUNQUEIRA, Luiz Carlos Uchôa; CARNEIRO, José. **Biologia celular e molecular**. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2012. 364 p. ISBN 978-85-277-2129-5.

26/03/2026, 19:49

Informações da disciplina - <i>por Conteúdo</i>

Bibliografia Básica	
https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-277-2129-5/pageid/0	
Bibliografia Complementar	
ZAHA, ARNALDO; FERREIRA, HENRIQUE Bunselmeyer, Passaglia, Luciane M. R. Biologia molecular básica , 5ª Ed. Artmed, Porto Alegre, RS: 2014. ISBN 9788582710586. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788582710586	
GIRARDI, Carolina S.; SUBTIL, Fernanda T.; RANGEL, Juliana O. Biologia molecular . Porto Alegre, RS: Grupo A, 2018. ISBN 9788595026995. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595026995/pageid/0	
De Robertis, Edward M., Hib, José. Biologia Celular e Molecular . 16. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2014. 372 p. ISBN 978-85-277-2386-2. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/978-85-277-2386-2 .	
Alberts, Bruce; Bray, Dennis; Hopkin, Karen. Fundamentos da Biologia Celular . 4. ed. Porto Alegre, RS: ArtMed, 2017. 864 p. ISBN: 9788582714065. https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788582714065 .	
ROMÃO, José E. Avaliação Dialógica - Desafios e Perspectivas. 6.ed. Cortez, 2005. ISBN 8524917717	

#	Resumo da Alteração	Edição	Data	Aprovação	Data
1	Inclusão de plano	Lia Maris Orth Ritter Antiqueira	06/10/2017	Lia Maris Orth Ritter Antiqueira	06/10/2017
2	Atualização da bibliografia.	Marcio Silva	23/03/2020	Igor De Paiva Affonso	24/03/2020
3	Bibliografia.	Igor De Paiva Affonso	30/03/2020	Igor De Paiva Affonso	30/03/2020
4	Caro Coordenador, realizei atualizações nas bibliografias, conforme solicitado. Atenciosamente, Prof. Marcio	Marcio Silva	08/03/2022	Igor De Paiva Affonso	13/06/2022

26/03/2026

19:49