



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS ARAGUATINS
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

RICHARD ALEF GARROS DA SILVA

**ANÁLISE CRÍTICA DE ALGUMAS DAS PROPOSTAS PARA A ORIGEM DA VIDA
NA TERRA PRESENTES EM LIVROS-TEXTO DE BIOLOGIA**

**Araguatins
2020**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS ARAGUATINS
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

RICHARD ALEF GARROS DA SILVA

**ANÁLISE CRÍTICA DE ALGUMAS DAS PROPOSTAS PARA A ORIGEM DA VIDA
NA TERRA PRESENTES EM LIVROS-TEXTO DE BIOLOGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas como requisito parcial para obtenção do Título de Licenciado em Ciências Biológicas do Instituto Federal do Tocantins, *Campus Araguatins*.

Orientador: Prof. Dr. Tarcisio da Silva Vieira.

**Araguatins
2020**

da Silva, Richard Alef Garros

Análise crítica de algumas das propostas para a origem da vida na Terra presentes em livros-texto de Biologia / Richard Alef Garros da Silva. – Araguatins, 2020.
47 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus Araguatins*, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Tarcisio da Silva Vieira

1. Origem da vida. 2. Limitações. 3. Química prebiótica. I. Título



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS ARAGUATINS
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Análise crítica de algumas das propostas para a origem da vida na Terra presentes em livros-texto de Biologia.

AUTOR: Richard Alef Garros da Silva

ORIENTADOR: Prof. Dr. Tarcício da Silva Vieira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas.

Aprovado (a) em 10 / 02 / 2020.

Prof. Dr. Tarcício da Silva Vieira
Instituto Federal do Tocantins – IFTO, *Campus Araguatins*

Profa. Me. Juliana Barros Carvalho
Instituto Federal do Tocantins – IFTO, *Campus Araguatins*

Prof. Dr. Ilsamar Mendes Soares
Instituto Federal do Tocantins – IFTO, *Campus Araguatins*

À minha família: meus *tios-irmãos* Fátima e Sérgio, meu *tio-pai* Célio Silva, minha *tia-irmã-mãe* Veronilse, tia Telma, tia Selma, tia Edna, a meus pais José Santos e Silvia Garros, e especialmente aos meus amados avós paternos, *João Maroca* e *Maria Divina*, que sempre estão ao meu lado em quaisquer circunstâncias me apoiando e cuidando de mim em todos os momentos da minha vida, existindo firmemente como o meu denso, massivo e indestrutível pilar em momentos de instabilidade, a pedra fundamental na construção do meu ser, meu porto seguro nas águas turbulentas do mar da vida, minha casa, meu tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas bênçãos, oportunidades, saúde e força para prosseguir nesta jornada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tarcisio Vieira da Silva, pela amizade, disponibilidade e grande paciência em todos os momentos em que eu ia incomodá-lo para a elaboração deste trabalho.

Ao meu amigo Prof. Dr. Danilo da Matta pelas dicas na elaboração deste trabalho, pelo incentivo e pelo encorajamento para perseguir os meus objetivos e conquistá-los.

Aos meus amigos, Sr. Emerson e família, que têm me dado muito apoio desde o começo da minha trajetória acadêmica.

Aos demais professores que conheci ao longo do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas que contribuíram significativamente para a construção do meu conhecimento, que também deram sempre incentivos para concluir esta etapa rumo à vida profissional e encorajamento para perseguir níveis mais altos.

O universo possui um começo, mas não um fim. Infinito. As estrelas também tem um começo, mas seu poder resulta própria sua destruição. Finito. A história tem mostrado que aqueles com sabedoria são os maiores tolos de todos. Peixes que vivem no mar não sabem nada sobre a terra. Se eles tivessem essa sabedoria, eles, por sua vez, seriam destruídos. Humanos excederem a velocidade da luz é mais tolo do que peixes começarem a viver em terra. Essas são palavras destinadas àqueles que ousam desafiar o último aviso de Deus... Uma epígrafe para sua teimosia.

さらちよみ - *Steins;Gate Zero*.

RESUMO

A origem da vida na Terra é um tema comumente presente nos livros-textos de Biologia, e tendo em vista esta característica objetivou-se neste estudo empregar o conhecimento químico na análise da viabilidade de algumas propostas para a origem da vida mais comuns em livros-texto de Biologia da Educação Básica. Foram analisados cinco livros-texto de Biologia de diferentes autores voltados para turmas do 1º ano do Ensino Médio, publicados no ano de 2016, no que se refere ao tema da origem da vida na Terra, comparando-os com diversos artigos científicos. Os textos analisados apresentam ao leitor a hipótese de Oparin-Haldane, o clássico Experimento de Miller, a possibilidade de que corpos provenientes do espaço tenham trazido ao planeta moléculas extraterrestres; a possibilidade de adsorção de moléculas na superfície de minerais e o Mundo de RNA. Estas são as principais propostas para o surgimento espontâneo da vida. Os textos apresentam também as principais diferenças entre as propostas, e as sequências de eventos que teriam possibilitado a passagem do mundo abiótico para o mundo biótico são mostradas numa sequência lógica, dando a entender que há consenso na comunidade científica a respeito desse tema. Entretanto, em todas as obras analisadas, as principais limitações de cada proposta para o surgimento espontâneo da vida, não são apresentadas e nem discutidas, apesar dessas informações estarem disponíveis na literatura científica desde o século passado. Isso, no entendimento dos autores, não contribui para a formação do pensamento crítico dos estudantes a respeito do tema das origens. No estudo aqui proposto utilizou-se o conhecimento químico, disponível desde a década de 80 nas principais revistas científicas, para apresentar as principais limitações das hipóteses para o surgimento espontâneo da vida na Terra presentes nos livros-textos analisados. Isto poderá contribuir com a formação de Professores de Biologia pois envolve aspectos mais abrangente que as informações disponíveis nos livros-textos, e conduz a formação do pensamento crítico.

Palavras-chave: Origem da vida. Limitações. Química prebiótica.

ABSTRACT

The origin of life on Earth is a theme commonly present in Biology textbooks, and in view of this characteristic, the objective of this study was to employ chemical knowledge in the analysis of the viability of some proposals for the origin of life most common in Biology textbooks from Basic Education Biology. Five biology textbooks by different authors were analyzed for classes in the 1st year of high school, published in 2016, regarding the theme of the origin of life on Earth, comparing them with several scientific articles. The analyzed texts present the reader with the hypothesis of Oparin-Haldane, the classic Miller experiment, the possibility that bodies from space have brought extraterrestrial molecules to the planet; the possibility of adsorption of molecules on the surface of minerals and the RNA World. These are the main proposals for the spontaneous appearance of life. The texts also present the main differences between the proposals, and the sequences of events that would have allowed the passage from the abiotic world to the biotic world are shown in a logical sequence, suggesting that there is consensus in the scientific community on this topic. However, in all the works analyzed, the main limitations of each proposal for the spontaneous emergence of life are not presented or discussed, although this information has been available in the scientific literature since the last century. This, in the author's understanding, does not contribute to the formation of student's critical thinking about the theme of origins. The proposed study used chemical knowledge, available since the 80's in major scientific journals, to present the main limitations of the proposals for the spontaneous appearance of life on Earth that are present in the analyzed textbooks. Thus, we hope to contribute to the formation of Biology Teachers who have knowledge about the origin of life on Earth that is more comprehensive than the information available in textbooks, so that they can enable the formation of critical thinking about the origins in their respective professional practice locations.

Key words: Origin of life. Limitations. Prebiotic chemistry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração do aparato utilizado por Urey e Miller	23
Figura 2 – Poças de água formadas nas areias da praia.....	25
Figura 3 – Linha do tempo (em bilhões de anos) dos principais eventos que teriam possibilitado o surgimento espontâneo da vida	27
Figura 4 – Esquema representativo do experimento visando simular as condições de adsorção de aminoácidos na superfície de minerais.....	33
Figura 5 – Esquema representativo do experimento visando simular as condições de adsorção de aminoácidos na superfície de minerais.....	34
Figura 6 – Ilustração de dois nucleotídeos de RNA nos quais se mostra o grupo fosfato, a ribose e o ponto de ligação com as bases nitrogenadas... ..	36
Figura 7 – Mecanismo simplificado da reação da formose levando à formação de várias hexoses e pentoses... ..	39
Figura 8 – Mecanismo de ruptura da ligação fosfodiéster pela reação química entre os grupos adjacentes fosfato e 2'-hidroxila.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Livros-texto utilizados.....	28
Tabela 2 – Detalhes dos livros-texto utilizados no estudo e as propostas presentes....	30
Tabela 3 – Tempos de meia-vida em duas diferentes temperaturas para as bases nitrogenadas que constituem o RNA....	38

LISTA DE SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
PCNs	Parâmetros Curriculares Nacionais
LDBEN	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
<i>USA</i>	<i>United States of America</i>
<i>RNA</i>	<i>Ribonucleic acid</i>
<i>DNA</i>	<i>Deoxyribonucleic acid</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Phe</i>	Fenilalanina
<i>Gly</i>	Glicina
°C	<i>Graus ceusius</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Um breve histórico do ensino de ciências no Brasil	18
2.2 A educação básica	19
2.3 O ensino de Biologia	20
2.4 Algumas das Principais Propostas para a Origem Espontânea da Vida na Terra	21
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	28
3.1 A pesquisa	28
3.2 Tipo de pesquisa.....	28
3.3 Instrumento de pesquisa.....	28
3.4 Análise de dados.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1 O Experimento de Miller	31
4.2 Adsorção de Moléculas na Superfície de Minerais.....	34
4.3 O Mundo de RNA.....	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O que é a vida? Como ela surgiu? Estes são questionamentos que fomentam debates ao redor do mundo com registros que datam desde a Grécia antiga até os dias atuais. Existem diferentes propostas para o surgimento espontâneo da vida, sendo que todas apresentam em seu escopo limitações que as tornam inviáveis do ponto de vista químico e bioquímico, o que resulta numa falta de consenso a respeito deste tema pela comunidade científica.

É muito comum se deparar com reportagens abordando a temática a respeito da origem e desenvolvimento da vida na Terra, e uma formação adequada, que permite ao leitor diferenciar especulações dos fatos verdadeiramente científicos é imprescindível para a formação de pensamento crítico a respeito desse tema. Nesse contexto, as aulas de Ciências na Educação Básica, geralmente, é a primeira forma de contato dos estudantes com explicações a respeito do surgimento da vida que transcendem as explicações de senso comum e de cunho religioso.

A Ciência, dentre várias definições, pode ser vista como um conjunto de conhecimentos, metodologias e tecnologias que objetivam analisar, compreender, descrever e explicar os fenômenos que nos cercam de maneira racional e lógica, baseando-se na observação, reflexão e experimentação. Atribuir o termo “científico” a alguma afirmação, objeto de pesquisa ou linha de raciocínio é uma maneira de implicar um tipo especial de confiabilidade, um tipo de mérito, presumivelmente obtido a partir do esforço de demonstrar métodos firmemente embasados e potencialmente “frutíferos” (CHALMERS; FIKER, 1993).

Segundo Krasilchik (2000), reconhece-se que na década de 50 vários movimentos que refletiram diversos objetivos da educação em função das transformações políticas, econômicas tal como o reconhecimento das tecnologias como essenciais para o desenvolvimento econômico, cultural e social, contribuíram para o crescimento do ensino das Ciências em todos os níveis, tornando objeto de inúmeros movimentos de transformações no ensino. O estudo e a compreensão do conhecimento científico começam através do aprendizado sistemático feito na escola, em disciplinas que compõem a matriz curricular, em especial as disciplinas de Ciências

Naturais (Química, Física e Biologia), que contribuem com os conceitos científicos básicos necessários para a construção do conhecimento e aperfeiçoamento do pensamento crítico dos discentes.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), de 1996 expressa a urgência da reorganização da educação básica, com o intuito de solucionar os desafios impostos pelas transformações dos processos globais e sociais por eles gerados na sociedade contemporânea na área das ciências biológicas (BORGES; LIMA, 2007); (DE MORAIS, 2009). Diretrizes como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para Ciências e Biologia regulam e orientam os educadores quanto alguns aspectos fundamentais das disciplinas por meio da normatização, permitindo a adaptação à realidade local e orientam a respeito das competências que os estudantes devem desenvolver para que se tornem aptos a compreender o mundo e se situar nele, utilizando os conhecimentos de natureza científica e tecnológica.

Nesse sentido, a formação de professores no âmbito das Ciências Biológicas deve contribuir com o desenvolvimento do pensamento crítico e da capacidade de argumentação fazendo uso do conhecimento científico disponível a respeito da origem da vida na Terra, de modo a reduzir as dificuldades de abordagem e eventuais distorções desse tema nas aulas de Ciências na Educação Básica (OERVERNEY; LAGE, 2016).

Entende-se que parte dessa formação docente está relacionada com o conhecimento e o estudo da forma com que os temas relacionados à origem da vida na Terra são apresentados e discutidos em alguns dos livros-textos de Biologia que são adotados nas escolas de Educação Básica, desenvolvendo no profissional da educação em formação a capacidade de avaliar criticamente uma obra didática com a qual o mesmo utilizará no exercício da atividade docente.

No decorrer da graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas observou-se que, mesmo em obras consagradas das áreas de Biologia Celular, Biologia Molecular e Bioquímica, os temas relacionados com a origem da vida na Terra eram abordados de maneira superficial e sem a apresentação das principais limitações para cada proposta apresentada. Há uma vasta literatura científica versando sobre as limitações das propostas para o surgimento espontâneo da vida na Terra. No

entanto, tal literatura é do âmbito da Química, e os argumentos apresentados não se fazem presentes nem mesmo nos livros-textos clássicos amplamente utilizados nos Cursos de Graduação em Ciências Biológicas no Brasil. Assim, nega-se ao profissional da educação em formação a fundamentação teórica necessária para compreender os motivos pelos quais ainda não existe consenso na comunidade científica a respeito de como, de modo espontâneo, teria surgido e se desenvolvido a primeira forma de vida na Terra.

Diante disso, passou-se então a indagar se esta mesma realidade também era observada em livros-textos de Biologia comumente utilizados como obras de referência na Educação Básica. Esta preocupação se justifica, na concepção dos proponentes deste estudo, no fato de que entre os diversos papéis da escola está o de possibilitar ao estudante encontrar explicações para o funcionamento do mundo e da vida que venham a transcender as tradicionais explicações do senso comum, e os livros didáticos adotados nas escolas geralmente são a porta de entrada para o conhecimento científico.

A compreensão a respeito dos fenômenos físicos, químicos e biológicos relacionados com a origem espontânea da vida é de grande relevância para a formação científica, humana e social, uma vez que discute as possíveis explicações sobre o surgimento dos primeiros seres vivos a partir da ótica científica, permitindo ao estudante transcender as tradicionais explicações de cunho religioso para o surgimento da vida na Terra. Além disso, como se trata de um tema distante do consenso científico, permite inúmeras discussões relacionadas com a viabilidade química e as limitações de cada proposta, desta forma, objetivou-se no presente trabalho realizar análise crítica considerando o conhecimento químico disponível na análise da viabilidade de algumas propostas para a origem da vida mais comuns em livros-texto de Biologia utilizados na Educação Básica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Um Breve Histórico Do Ensino De Ciências No Brasil

A reforma do ensino de Ciências aconteceu no período pós-guerra (1950-1960) no *USA* e *England*, essa renovação teve impacto significativo propagando-se pelo mundo inteiro, nas últimas décadas o processo de modificação tem sofrido transformações e modificações por influência política, social e econômico, afetando o Brasil e os países com o qual nos relacionamos (KRASILCHIK, 2008); (TEIXEIRA; NETO, 2016).

Os projetos educacionais da época eram bem diretos e objetivos, as disciplinas científicas foram agrupadas e estruturadas em um quadro lógico, com a meta de induzir os estudantes pensar e agir como cientistas, os pressupostos para este método de ensino foi de que a ciência será inerentemente mais interessante para todos se a mesma for apresentada da forma que ela é conhecida/estudada pelos cientistas e que em qualquer estágio de desenvolvimento da construção do conhecimento individual dos estudantes o conteúdo de ciências poderia ser ensinado de forma “intelectual e honesta”, entretanto, muitos pesquisadores em Educação em Ciências hoje atuantes em grupos de pesquisas responsáveis pelo funcionamento de revistas científicas, eventos nas áreas de Ensino de Ciências, Física, Química e Biologia contestam os primeiros projetos brasileiros de ensino de Ciências, avaliando-os como inadequados à realidade escolar brasileira (NARDI; DE ALMEIDA, 2004).

Da Rosa e Da Rosa (2012) destacam que na década de 1980 o ensino de Ciências voltou-se à produção do conhecimento direcionado aos avanços tecnológicos, pois a Ciência e a Tecnologia já estavam intimamente ligados e era necessário aprofundar e desenvolver ainda mais esta interação, entretanto, diversas discussões foram postas em pauta no que se refere os experimentos laboratoriais principalmente utilizando cobaias vivas, o que deu origem à preocupações relacionadas a possíveis consequências que a tecnologia associada à Ciência poderia trazer, e tais questões manifestaram a necessidade de revisão e melhoria do ensino de Ciências com o intuito de fazer uma aproximação com os problemas da sociedade na qual se está inserido, o que não deu muito certo no Brasil, não atingindo os níveis esperados

nestes campos, pois os professores que desconheciam tais relações mantinham a metodologia tradicional de ensino, concentrando-se apenas na transmissão da informação sem qualquer contextualização moderna da educação, continuando a ser apoiado por emendas na Constituição de 1988, no capítulo destinado à educação o interesse “mercadológico” acima do interesse dos cidadãos do país.

2.2 A Educação Básica

No Ensino Médio os alunos devem ser capazes de desenvolver competências e habilidades essenciais para exercer seu papel de cidadão na sociedade. Durante toda a educação básica os estudantes entram em contato com diferentes tópicos, assuntos, que objetivam auxiliá-los a compreender a realidade em que vivem, torná-los criativos, desenvolver seu pensamento crítico e fornecer os alicerces para a construção de seu Conhecimento.

No que se refere ao conhecimento científico, Da Fonseca (2016, p. 14) destaca:

O conhecimento científico é um produto resultante da investigação científica. Surge não apenas da necessidade de encontrar soluções para problemas de ordem prática da vida diária, características do conhecimento do senso comum, mas do desejo e da necessidade de fornecer explicações sistemáticas que possam ser testadas e criticadas através de provas empíricas. É um produto da necessidade de se alcançar um conhecimento "seguro".

O conhecimento científico é a base que norteia esta construção do Conhecimento individual, estabelece as características, valores e capacidade de conviver em sociedade, desenvolver as habilidades de comunicação, argumentação, autogestão, autoconhecimento, empatia, cooperação e principalmente autonomia.

De acordo com Brasil (1996), a educação básica é organizada em três níveis: (I) Pré-escola, (II) Ensino Fundamental e (III) Ensino Médio. A partir da segunda etapa da educação básica, o Ensino Fundamental, são incluídas disciplinas relacionadas às Ciências da Natureza, compreendendo as disciplinas de Física, Química e Biologia, que estudam a natureza e seus fenômenos.

Os conteúdos programáticos assim como as competências que os estudantes deverão alcançar ao longo da educação básica são regulados e definidos pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que deve nortear os currículos dos sistemas e redes de ensino das Unidades Federativas, como também as propostas pedagógicas de todas as escolas públicas e privadas de Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio, em todo o país (BRASIL, 2018).

O Ensino Médio é a etapa final do processo formativo contínuo da Educação Básica, possuindo princípios e finalidades que orientam seu funcionamento, sendo estes a consolidação dos conhecimentos obtidos nas duas primeiras etapas da educação básica, tal como os princípios básicos para o exercício da cidadania e atuação no meio profissional, tomando este como ponto de partida para o aprendizado contínuo e progressivo aperfeiçoamento posterior, além do desenvolvimento do educando como humano, permitindo o desenvolvimento do seu pensamento crítico, tornar-se intelectualmente autônomo, desenvolver valores éticos e ser capaz de compreender as fundamentações científicas e tecnológicas que fazem parte da sociedade humana contemporânea (BRASIL, 2013).

2.3 O Ensino De Biologia

A sociedade contemporânea integra em todos os seus setores conceitos e produtos da Ciência e Tecnologia, influenciando diretamente nos aspectos econômicos, sociais, culturais e causando eventuais transformações em seus sistemas, o que por sua vez abre grande espaço para o notável destaque sem precedentes da Biologia na história da ciência e humanidade com contantes progressos em descobertas científicas, estendendo seus benefícios e informações de maneira gradual do meio acadêmico às massas, ou seja, o público em geral (PEDRANCINI et al., 2007).

Para que os membros desta sociedade contemporânea possam exercer seus direitos de cidadão em um mundo tão intrinsecamente ligado à Ciência e a Tecnologia é necessário adquirir o mínimo de conhecimento, habilidades e competências para adaptarem-se às tendências atuais, e a melhor maneira de fazer isso, legalmente falando, pode e deve ser realizado no âmbito escolar, local que possuem currículo e metodologias especializadas para a realização efetiva do processo de en-

sino-aprendizagem para a formação do cidadão. Despertar a curiosidade para o ensino de Ciências, em especial para o ensino de Biologia, é um desafio, exigindo do docente domínio de conteúdo, embasamento teórico sólido, além de uma didática satisfatória e técnicas pedagógicas que facilitem o processo de ensino-aprendizagem (FAGUNDES et al., 2012).

Brasil (2018, p. 16-17) afirma que para assegurar as aprendizagens essenciais definidas para cada currículo da educação básica, o BNCC em suas diretrizes definem ações como: (I) “contextualizar os conteúdos dos componentes curriculares estratégias para [...] torná-los significativos, com base na realidade do lugar [...] nos quais as aprendizagens estão situadas”; (II) “selecionar, produzir, aplicar e avaliar recursos didáticos e tecnológicos para apoiar o processo de ensinar e aprender” e (III) “criar e disponibilizar materiais de orientação para os professores [...] que possibilitem contínuo aperfeiçoamento dos processos de ensino e aprendizagem”. Para alcançar os objetivos do BNCC quanto às “competências e habilidades que se espera que todos os estudantes desenvolvam ao longo da escolaridade básica”, diversos recursos didáticos podem ser utilizados nas disciplinas que compreendem as Ciências da Natureza além dos livros didáticos que possibilitem a construção efetiva do conhecimento científico, como experimentos didáticos, lúdico e análises de artigos científicos relacionados aos temas trabalhados em sala.

Em Ciência nada é absoluto, nada é completo, tudo está em constante progresso e em evolução, é necessário fazer com que os discentes estejam plenamente cientes destes fatos ao estudar as áreas das Ciências Naturais, em particular a Biologia.

2.4Algumas Das Principais Propostas Para A Origem Espontânea Da Vida Na Terra

As primeiras propostas para o surgimento espontâneo da vida na Terra, que utilizam o conhecimento químico para explicar o surgimento de moléculas biologicamente importantes, são atribuídas ao bioquímico russo Aleksandr I. Oparin (1924) e ao geneticista inglês John B. S. Haldane (1927/1928) (BARCELOS, 1999); (TIRARD, 2017); (ZAIA; ZAIA, 2008).

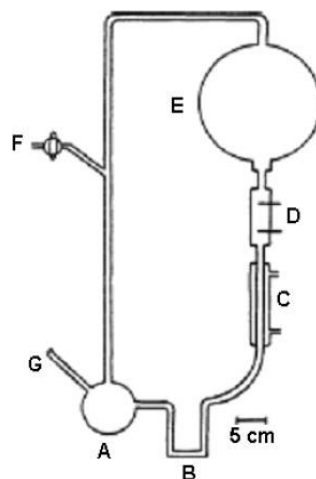
Na proposta conhecida como Hipótese de Oparin-Haldane, reações químicas na suposta atmosfera do planeta Terra ainda em estágio primitivo eram catalisadas por fortes descargas elétricas. Neste cenário, moléculas inorgânicas como amônia (NH_3), gás hidrogênio (H_2), vapor de água (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), gás sulfídrico (H_2S), e também moléculas orgânicas, como metano (CH_4), dentre outras, reagiriam entre si para dar origem a moléculas orgânicas que constituem os seres vivos, tais como aminoácidos, açúcares, bases nitrogenadas e ácidos graxos. Depois de milhões de anos de acúmulo e conservação, estas moléculas de importância biológica se combinariam formando biopolímeros, tais como polissacarídeos, proteínas, nucleotídeos etc. Em seguida, membranas de lipídeos envolveriam os polímeros formados, dando origem aos coacervados. Em fim, depois de milhões de anos, as reações químicas que ocorriam dentro destes coacervados seriam tão complexas e o ambiente químico interno seriam tão diferentes do ambiente químico externo que a estrutura em questão poderia ser considerada como uma forma de vida primitiva (ZAIA; ZAIA, 2008). Assim, processos abióticos teriam originado de modo espontâneo as primeiras formas de vida na Terra.

A principal ideia da hipótese de Oparin-Haldane é a aplicação do cenário de evolução darwiniana lenta e gradual, numa espécie de “evolução química”. Moléculas simples, assim consideradas por Oparin e Haldane, dariam origem a moléculas cada vez mais complexas, e a constituição bioquímica atual dos seres vivos seria o resultado de uma seleção natural imposta pelo ambiente na medida em que os coacervados iam sendo formados e degradados.

Os Químicos Harold Urey e Stanley Miller se propuseram a testar experimentalmente a proposta teórica de Oparin e Haldane. Eles argumentavam que a atmosfera da Terra, em sua origem, teria uma composição química diferente da atual, sendo mais parecida com a atmosfera de planetas gasosos como Júpiter e Saturno, tendo como principal característica ser fortemente redutora. Então, em 1953, Urey e Miller montaram um experimento que buscava simular os processos atmosféricos que teriam ocorrido no planeta Terra em seu estágio primitivo (DAMINELLI; DAMINELLI, 2007) (**Figura 1**).

Na **Figura 1**, os gases NH_3 , CH_4 e H_2 eram armazenados na câmara **E**, que simularia a atmosfera. O recipiente **A** continha água aquecida entre 80 °C e 100 °C simulando os mares primitivos aquecidos, e o vapor de água que escapava dali su-

Figura 1: Ilustração do aparato utilizado por Urey e Miller.



Fonte: Zaia e Zaia (2008).

bia pela tubulação no lado esquerdo e ia direto para a câmara **E** se reunir aos demais gases. As descargas elétricas eram simuladas pelos eletrodos, localizados em **D**, e as substâncias formadas em decorrência das reações químicas eram condensadas no condensador **C**, sendo depositadas na porção em formato de “U”, do sistema, na parte **B** da ilustração.

Algumas semanas depois do início do experimento e mantendo o sistema sob recirculação, a análise química da mistura reacional obtida indicou a presença dos aminoácidos α -alanina, β -alanina e α -aminoácido-n-butírico (MILLER, 1953). Os resultados de Urey e Miller mostraram que compostos orgânicos de importância biológica poderiam ter se formado a partir de compostos mais simples, num ambiente fortemente redutor. Os mecanismos propostos para a formação de biomoléculas ocorreriam na atmosfera, e as moléculas resultantes seriam arrastadas pelas chuvas para os quentes oceanos primitivos.

Em função desses resultados o estudo em questão ficou conhecido como Experimento de Urey-Miller, sendo considerado o marco inicial das investigações experimentais que buscam compreender o surgimento e o desenvolvimento da vida na Terra.

Outros pesquisadores sugerem que os oceanos primitivos teriam sido enriquecidos com moléculas de origem extraterrestre, trazidas por meteoros que colidiam com o planeta Terra, o que é conhecido com *Panspermia*. Já na década de ses-

senta as bases nitrogenadas adenina e guanina foram encontradas em fragmentos do meteorito de Orgueil que caiu no Sul da França em 1864 (HAYATSU, 1964). Na década seguinte descobriu-se uracila no meteorito de Murchison, que caiu na Austrália em 1969 (STOKS; SCHWARTZ, 1979), e dois anos mais tarde foi apresentado o mecanismo químico de formação de compostos heterocíclicos contendo nitrogênio em meteoritos (STOKS; SCHWARTZ, 1981). Desde então, muitos trabalhos têm sido publicados mostrando que meteoritos realmente contêm diversas classes de compostos orgânicos de importância biológica. Callahan et al (2011) mostram numa revisão as bases nitrogenadas e/ou seus precursores que já foram encontrados em meteoritos, enquanto que Furukawa et al (2019) em outra revisão mostram os meteoritos nos quais já se encontraram ribose e outros tipos de açúcares. Açúcares e bases nitrogenadas são alguns dos blocos construtores que constituem os nucleotídeos.

Ainda que a queda de meteoritos contendo moléculas orgânicas tivesse atuado em conjunto com os mecanismos propostos por Urey e Miller para a formação de moléculas orgânicas na atmosfera da Terra, os grandes oceanos primitivos ainda seriam um desafio à formação de biopolímeros. Reações químicas requerem a colisão entre moléculas, o que se torna altamente improvável nos cenários prebióticos propostos em função do efeito de diluição das moléculas orgânicas presentes na água (CLAYDEN et al., 2012).

A superação desse obstáculo foi inicialmente proposto pelo cientista irlandês John Desmond Bernal, em sua obra *"The Physical Basis of Life"* (BERNAL, 1951). Nessa proposta, as moléculas dissolvidas nas águas oceânicas teriam sido levadas pelas ondas até as praias. O contínuo processo de evaporação da água das poças formadas em depressões na areia garantiria a pré-concentração e até mesmo a adsorção das moléculas (**Figura 2**). Este processo repetido muitas vezes teria aumentando a probabilidade de serem obtidas as condições físico-químicas necessárias à formação de biopolímeros.

Figura 2: Poças de água formadas nas areias da praia.



Fonte: Da Silva (2019).

Como mencionado anteriormente, a passagem do mundo abiótico para o biótico é entendido pela grande maioria da comunidade científica como uma forma de “evolução química” e as mudanças teriam sido lentas e graduais. O tempo desempenharia um importante papel possibilitando a ocorrência de eventos que em curto prazo seriam impossíveis de ocorrerem, como explica Wald, num clássico artigo na revista *Scientific American* (WALD, 1954, p. 48, tradução nossa):

[...] No entanto, quanto mais improvável considerarmos um evento, ou qualquer uma de suas etapas, dado o tempo suficiente, é quase certo que aconteça pelo menos uma vez. Assim, diante de tanto tempo, o impossível torna-se possível; o possível torna-se provável, e o provável torna-se praticamente certo. O tempo realiza milagres.

Nos seres vivos a formação de biopolímeros a partir de moléculas percussoras menores requer o envolvimento de outras moléculas com a capacidade de catalisar tais reações bioquímicas. Uma grande quantidade de enzimas está envolvida na catálise das reações que permitem a síntese de DNA e RNA, por exemplo. Considerando que as leis da termodinâmica eram válidas também no mundo prebiótico, se o problema da probabilidade fosse superado, a formação de biopolímeros na superfície da areia ou argila (ou mesmo nos oceanos) ainda estaria condicionada à existência de catalisadores. Mesmo que todos os blocos construtores necessários à síntese das proteínas e ácidos nucleicos estivessem disponíveis, a inexistência de moléculas com a capacidade de catálise inviabilizaria a formação de biopolímeros.

Ainda não foi encontrado nenhum catalisador inorgânico reconhecidamente capaz de realizar essa tarefa de modo a satisfazer os requisitos cinéticos e termodinâmicos da síntese de biopolímeros. Por outro lado, a complexidade das enzimas

que realizam a catálise das reações bioquímicas sugere que tais moléculas não poderiam estar presentes num estágio tão primitivo. Assim, o problema da catálise figurou como uma barreira quase que intransponível para os estudiosos da Química prebiótica.

No ano de 1982 pesquisadores da Universidade do Colorado descobriram RNAs com a capacidade de realizar a catálise de uma série de reações bioquímicas em *Tetrahymena thermophila* (KRUGER et al., 1982). Essa descoberta deu novo impulso às pesquisas sobre a origem da vida, uma vez que o RNA é um dos biopolímeros mais simples ainda possui a capacidade catalítica. A incorporação das características estruturais e catalíticas do RNA aos cenários prebióticos é conhecido como O Mundo de RNA, e de acordo com os simpatizantes dessa proposta o código genético seria anterior ao metabolismo (GILBERT, 1986).

A proposta de que moléculas de RNA teriam desempenhado papel fundamental na passagem do mundo abiótico para o mundo biótico foi muito bem-aceita pela comunidade científica, e, hoje é parte integrante das explicações para o surgimento espontâneo da vida que constitui as principais obras utilizadas em Cursos de Graduação em Ciências Biológicas.

Em suas obras, Alberts et al (2010, p. 400) em “Biologia Molecular da Célula” e Alberts et al (2013, p. 253, tradução nossa) em “*Essential Cell Biology*” afirma:

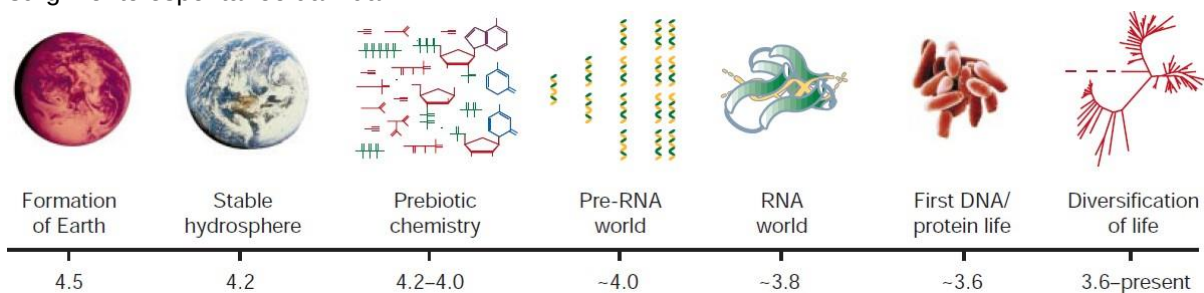
Toda esta maquinaria representa um paradoxo central: se ácidos nucleicos são necessários para a síntese de proteínas, e proteínas são necessárias para a síntese de ácidos nucleicos, como é que este sistema interdependente veio a existir? Uma possibilidade é que um mundo de RNA existiu na Terra antes do surgimento das células modernas.

David e Cox (2014), em Princípios de Bioquímica de Lehninger, afirma:

Um dos estágios mais precoces da evolução biológica foi a formação espontânea, na sopa primordial, de uma molécula de RNA auto replicante. A concentração de RNA auto replicante aumentaria exponencialmente com uma molécula formando duas, duas formando quatro, e assim por diante.

A ilustração a seguir (**Figura 3**) sintetiza as principais propostas discutidas aqui, dispostas na sequência de eventos pensados que poderiam ter levado ao surgimento espontâneo da vida, sendo a mais comumente apresentada nos livros-textos de biologia ainda que na forma de argumentação.

Figura 3: Linha do tempo (em bilhões de anos) dos principais eventos que teriam possibilitado o surgimento espontâneo da vida.



Fonte: Joyce (2002).

Na **Figura 3**, a presença de moléculas orgânicas mais complexas nos oceanos primitivos, formadas a partir dos mecanismos propostos por Miller e outros pesquisadores, ou mesmo por moléculas extraterrestres trazidas a Terra por meteoritos, caracterizaria o período conhecido como Química Prebiótica. O mundo de RNA teria seu ápice cerca de 4 milhões de anos depois. Em fim, as primeiras formas de vida teriam tido início a cerca de 3,6 bilhões de anos atrás.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 A Pesquisa

O levantamento de dados foi realizado pela leitura e análise dos conteúdos versando sobre a origem da vida na Terra que são apresentados em alguns livros didáticos de Biologia comparando-os com diversos artigos científicos. A distribuição atual dos temas de Biologia para o Ensino Médio permite que o estudante entre em contato com o as propostas para o surgimento espontâneo da vida já no primeiro ano.

3.2 Tipo De Pesquisa

A pesquisa realizada é do tipo teórica e bibliográfica, de natureza básica e caráter descritivo (PRODANOV; DE FREITAS, 2013), fazendo uma análise crítica das informações observadas em livros-texto comumente utilizados como Bibliografia para o ensino de Biologia no Ensino Médio.

3.3 Instrumento De Pesquisa

Os livros-texto analisados no estudo estão listados na Tabela a seguir, indicando seus autores, editoras e ano de publicação. A leitura e análise foram feitas em paralelo e em comparação texto a texto, de modo a entender a sequência da apresentação das ideias em cada obra. Embora alguns textos não apresentassem uma divisão das propostas para o surgimento espontâneo da vida na Terra separado por seções, ainda assim foi possível identificar as propostas apresentadas.

Tabela 1: Livros-texto utilizados.

Título	Autor	Editora	Ano
Biologia Moderna	José Mariano Amabis Gilberto Rodrigues Martho	Moderna	2016

Contato Biologia	Marcela Yaemi Ogo Leandro Pereira de Godoy.	Quinteto Editorial	2016
Biologia Hoje	Sérgio Linhares	Ática	2016
	Fernando Gewandszanajder Helena Pacca		
Bio	Sônia Lopes Sergio Rosso	Saraiva	2016
Biologia	Vivian L. Mendonça	AJS	2016

Fonte: Da Silva (2019).

Além dos livros-texto elencados na Tabela 1, foram consultados também documentos oficiais que regulamentam e norteiam o ensino de Biologia no país, tais como a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), com o intuito de entender como se propõe a abordagem dos temas referentes à origem da vida na Terra em sala de aula, para caracterizar algumas estruturas químicas foi utilizado o software de criação desenhos de moléculas químicas foi utilizado o *ChemDraw® Ultra 7.0*, da empresa *PerkinElmer*.

3.4 Análise De Dados

Durante a leitura dos textos buscou-se analisar tanto as propostas apresentadas para o surgimento espontâneo da vida na Terra, como também, a forma de abordagem das propostas. Em seguida, os temas apresentados nas obras listadas foram estudados em artigos científicos com vista a se fazer comparativos entre aquilo que se faz presente nos livros didáticos utilizados nas escolas e o que é apresentado na literatura científica. Os comparativos referiam-se tanto em relação à profundidade e amplitude dos temas abordados, como também, se as limitações de cada proposta se faziam presentes nos textos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os detalhes das obras utilizadas neste estudo e as propostas para o surgimento espontâneo da vida presentes em cada uma.

Tabela 2: Caracterização dos livros-texto utilizados no estudo e as propostas presentes nos mesmos.

Título	Autor	Editora	Ano	Propostas Abordadas
Biologia Moderna	José Mariano Amabis Gilberto Rodrigues Martho	Moderna	2016	a) O Experimento de Miller b) O Mundo de RNA c) Panspermia
Contato Biologia	Marcela Yaemi Ogo Leandro Pereira de Godoy.	Quinteto Editorial	2016	a) Hipótese de Oparin-Haldane b) Experimento de Miller c) Panspermia
Biologia Hoje	Sérgio Linhares Fernando Gewandszanajder Helena Pacca	Ática	2016	a) Hipótese de Oparin-Haldane b) Experimento de Miller c) Panspermia d) Fontes Hidrotermais
Bio	Sônia Lopes Sergio Rosso	Saraiva	2016	a) Hipótese de Oparin-Haldane b) Experimento de Miller c) Panspermia d) Fontes Hidrotermais
Biologia	Vivian L. Mendonça	AJS	2016	Hipótese de Oparin-Haldane

Fonte: Da Silva (2019).

A leitura atenta dos textos referentes à origem espontânea da vida presentes em cada obra revelou que a maior parte das apresentações das propostas são feitas em conformidade com o que se faz presente nos principais artigos científicos que discutem o assunto. Embora não tenham a mesma profundidade e amplitude que a literatura científica, os textos presentes nos livros permitem ao estudante, além de conhecer o tema, ter uma visão clara do que é proposto e quais as principais diferenças entre cada proposta.

Porém, diferentemente daquilo que é feito nos artigos científicos, os textos presentes nos livros não apresentam aos leitores as limitações de cada proposta para o surgimento espontâneo da vida na Terra. Excetuando-se uma breve limitação

às condições em que foram realizadas o experimento de Miller, nenhuma das obras estudadas tocam neste ponto.

Conhecer as limitações das teorias e das leis científicas é importante para a formação do pensamento crítico dos estudantes com relação a um determinado tema, pois permite a ele construir, a partir dos conhecimentos técnicos aprendidos, seus próprios argumentos para se posicionar em favor de uma ou de outra proposta, distanciando-se assim do saber popular (BRASIL, 2000). Além disso, também é importante para o desenvolvimento do conhecimento e do pensamento científico (YANOFSKY, 2016).

4.1 O Experimento De Miller

Nas obras estudadas o experimento de Miller é abordado na forma de relatos, apresentado aos leitores a descrição de cada etapa do experimento e das aparelhagens básicas de laboratório utilizadas. Em seguida são fornecidos os principais resultados e as suas implicações para as propostas que buscam explicar o surgimento espontâneo da vida na Terra. O ponto em destaque nessa etapa é o fato de que alguns aminoácidos e ácidos carboxílicos que constituem os seres vivos, além de uma grande quantidade de outras substâncias orgânicas, foram encontrados na complexa mistura reacional obtida. Os relatos terminam com a afirmação de que os resultados do experimento de Miller sugerem que se no mundo prebiótico tivesse existido características químicas semelhantes, talvez as primeiras moléculas percussoras da vida tivesse sido assim formadas como demonstrado no experimento.

Ao encerrar a abordagem dessa forma, os textos presentes nos livros didáticos transmitem a ideia de que bastaria que as moléculas orgânicas fossem formadas e a origem da vida já seria uma possibilidade, deixando de apresentar aos leitores as limitações da proposta e os problemas a ela associados, diferindo muito da literatura científica que aborda o tema.

Entre a possível formação de moléculas orgânicas a partir de moléculas mais simples, o que ficou demonstrado no experimento de Miller, e o surgimento espontâneo da vida, há um longo caminho a ser percorrido. Esse caminho passaria, invaria-

velmente, pela formação de polímeros como as proteínas a partir de moléculas precursoras, nesse caso, os aminoácidos.

Apenas os processos físicos e químicos deveriam atuar sobre a matéria para, respeitando as leis da probabilidade, originar polímeros a partir de seus monômeros constituintes. No entanto, para possuir as características bioquímicas necessárias para contribuir com o surgimento de uma forma de metabolismo primitivo, a sequência de monômeros na estrutura do polímero deveria ser apropriada.

Obter uma sequência apropriada de monômeros que confira ao polímero resultante características bioquímicas de interesse biológico é um grande desafio mesmo nos maiores laboratórios de síntese orgânica, como é discutido por Carey (2009, pg. 1165-1166):

Vários métodos e reagentes eficazes têm sido criados para a formação da ligação peptídica, de modo que a conexão dos aminoácidos com ligações amídicas não é difícil. A verdadeira dificuldade está em garantir que a sequência correta seja obtida.

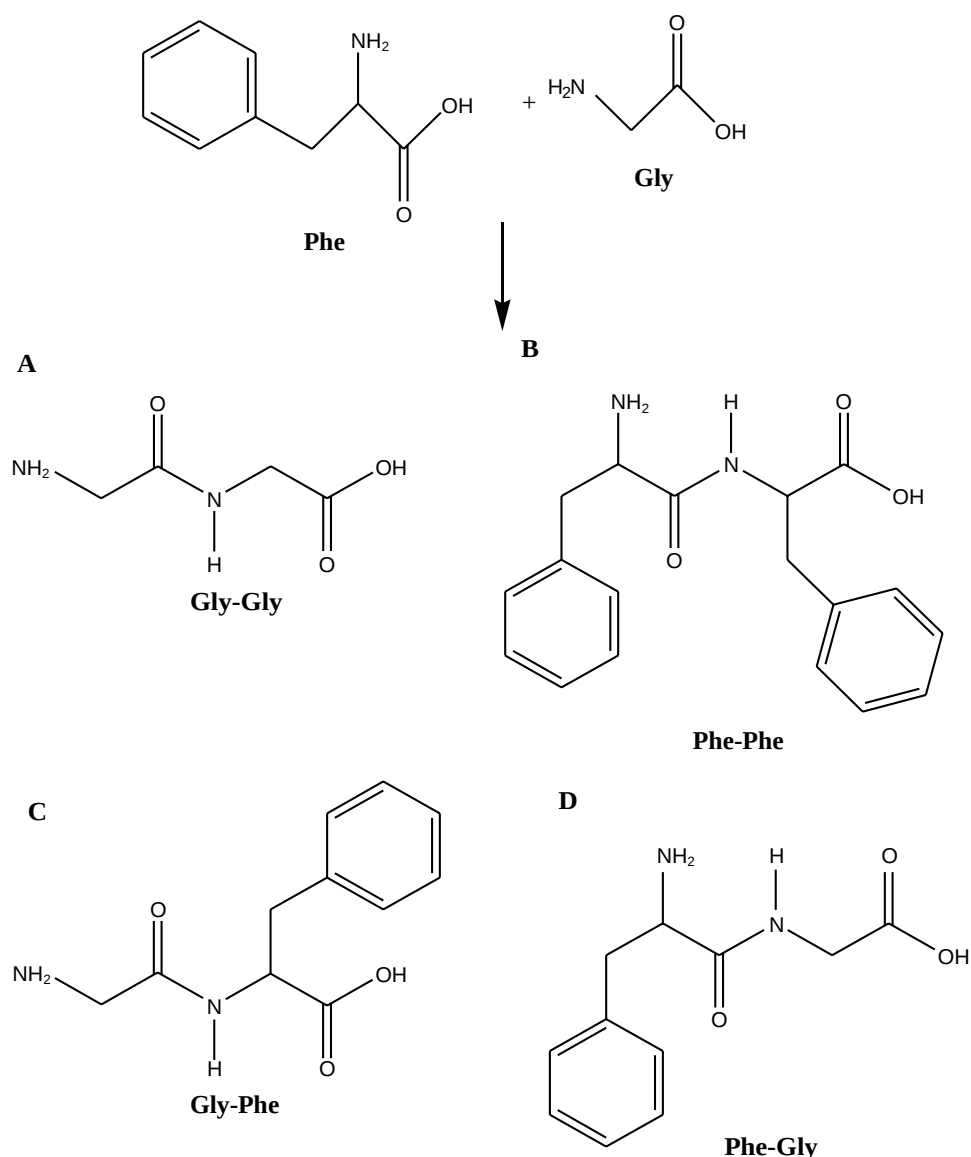
Nos organismos vivos a sequência adequada dos aminoácidos na estrutura das proteínas é obtida a partir de uma verdadeira maquinaria biológica, de modo a garantir que moléculas funcionais sejam sintetizadas com o menor custo energético e a maior eficiência química possível, demonstrada em detalhes por De Robertis e Hib (2006, pg. 247-261).

Essa maquinaria ou os recursos laboratoriais não se faziam presente nas supostas condições pré-bióticas. Consequentemente, a sequência preferencial de monômeros na estrutura do polímero deveria obedecer a critérios probabilísticos, cinéticos e termodinâmicos. Nessas condições uma mistura reacional constituída apenas pelos aminoácidos fenilalanina (*Phe*) e glicina (*Gly*) poderia fornecer quatro dímeros diferentes (**Figura 4**).

Considere, por exemplo, que o dímero fenilalanina-glicina seja aquele com o maior potencial de originar um polímero com características bioquímicas necessárias para um metabolismo primitivo. Na ausência de características estruturais que possibilitem a atuação de fatores cinéticos e/ou termodinâmicos que privilegiem sua formação na mistura reacional em detrimento a outras três possibilidades, os dímeros possíveis teriam a mesma probabilidade de formação. Assim, quanto maior o núme-

ro de monômeros presentes na mistura reacional, menor a probabilidade de ser obtido um polímero específico majoritariamente. Ou seja, independente do modo como as moléculas orgânicas foram parar nos oceanos primitivos (como proposto por Miller ou trazidas a Terra por meteoritos), quanto maior a variabilidade de monômeros disponíveis, menor a probabilidade de formação de polímeros de interesse biológico.

Figura 4: Dímeros possíveis de serem formados pela reação química entre os aminoácidos *Phe* e *Gly*.



Fonte: Figura elaborada pelo autor a partir do software ChemDraw® Ultra 7.0.

O experimento de Miller foi bem-sucedido em demonstrar que em condições fortemente redutoras poderiam ser formadas, de modo espontâneo, algumas molé-

culas que constituem polímeros de interesse biológico. No entanto, como mencionado anteriormente, em tais condições a formação espontânea de polímeros a partir dessas moléculas seria inviável do ponto de vistas químico e probabilístico.

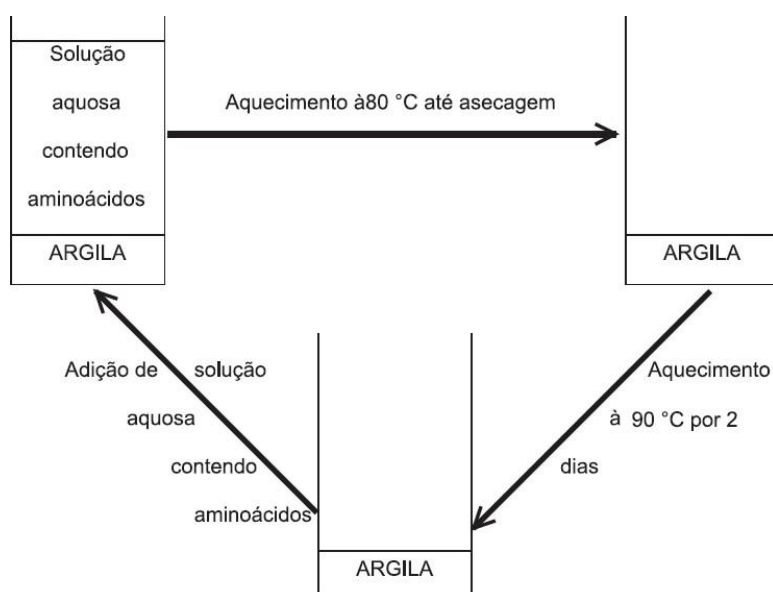
Os livros-textos analisados apresentam o experimento de Miller e enfatizam os resultados obtidos, porém, não enfatizam as limitações discutidas anteriormente.

4.2 Adsorção De Moléculas Na Superfície De Minerais

A adsorção de moléculas orgânicas na superfície de e/ou argilas ainda é o principal mecanismo proposto para solucionar o problema da diluição discutido anteriormente. Esta proposta foi testada experimentalmente (ZAIA et al., 2002; ZAIA; ZAIA, 2006), e os resultados obtidos também não são apresentados nas obras analisadas.

Para isso foi construído um sistema de adição de solução aquosa contendo aminoácidos, representando as águas oceânicas da Terra primitiva, em um recipiente com argila, representando as poças com água oceânica (**Figura 5**).

Figura 5: Esquema representativo do experimento visando simular as condições de adsorção de aminoácidos na superfície de minerais.



Fonte: Zaia e Zaia (2006).

Depois que o ciclo mostrado na **Figura 5** foi repetido várias vezes, procedeu-se à análise da constituição química das substâncias adsorvidas na superfície da argila. Os resultados mostraram que os aminoácidos adsorvidos tinham em comum o fato de possuírem sua cadeia lateral carregada com carga elétrica de sinal positivo, como é o caso da arginina. Aminoácidos com cadeia lateral desprovida de carga elétrica ou aqueles com cadeia lateral carregada com elétrica negativa não seriam adsorvidos na superfície de minerais e, conseqüentemente, o mecanismo de pré-contracção proposto não seria eficiente nestes casos.

Caso o mecanismo proposto tivesse tido papel preponderante no surgimento espontâneo da vida na Terra, esperar-se-ia que as formas de vida existentes com - partilhassem dessa característica. Ou seja, a composição bioquímica das proteínas que constituem os seres vivos deveria apresentar uma preponderância de aminoácidos com cadeia lateral carregada com carga elétrica positiva. No entanto, é conhecido desde a década de 70 que as proteínas que já foram estudadas e que constituem os seres vivos são compostas em sua grande maioria (74,5 %) por aminoácidos com cadeia lateral desprovida de carga elétrica (KLAPPER, 1977).

As conclusões de Zaia e Zaia (2006, p. 789) ao final do estudo são contundentes, afirmando que “[...] o mecanismo de pré-concentrar os aminoácidos realizados pelos minerais pode não ter sido tão importante quanto se imaginava”.

Apesar disso, as limitações discutidas neste estudo também não fazem parte dos textos escolares versando sobre a origem espontânea da vida na Terra, o que é de grande relevância para a construção e desenvolvimento do pensamento crítico.

4.3 O Mundo De RNA

Os textos que abordam o chamado mundo de RNA, título este que nas obras analisadas reforçam a ideia de que essa molécula teria desempenhado papel central na transição do mundo abiótico para o mundo biótico. A propriedade de conter informação bioquímica e ao mesmo tempo ter a capacidade de realizar catálise são características que teriam possibilitado moléculas orgânicas simples, como aminoácidos e carboidratos, dar origem a polímeros de importância biológica. Assim, moléculas de RNA que tivessem sido formadas no mundo prebiótico teriam contribuído para

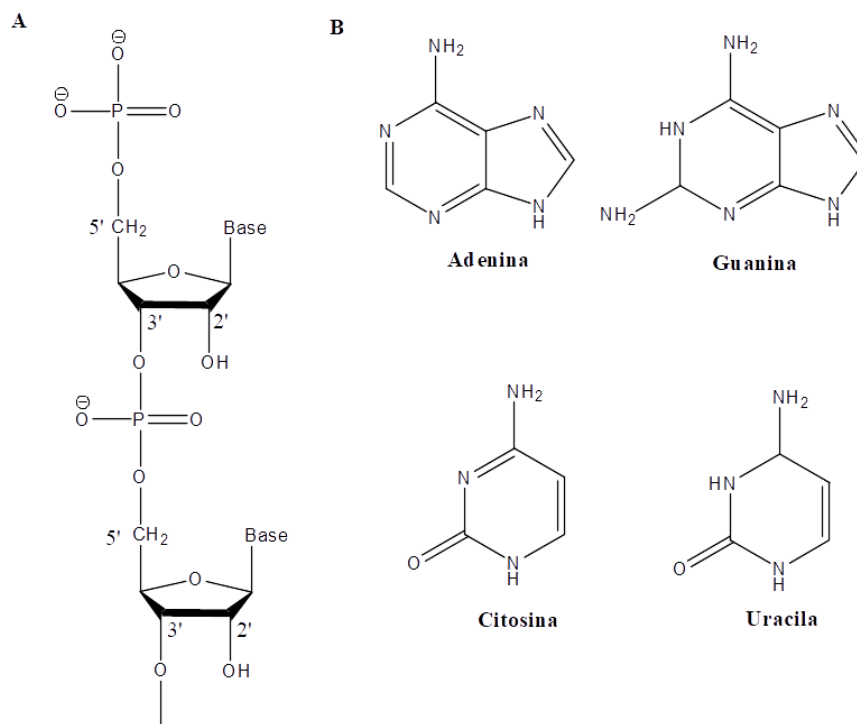
a superação de muitos dos obstáculos para surgimento espontâneo da vida na Terra. O que reforça a afirmação de Voet, Voet e Pratt (2014, pg. 48):

As estruturas complexas potencialmente adotadas pelas moléculas de RNA de fita simples fornecem uma evidência adicional de que o RNA pode estar envolvido em mais processos do que no simples armazenamento e na transmissão da informação genética. Várias investigações demonstraram que certas moléculas de RNA podem ligar-se especificamente a pequenas moléculas orgânicas e catalisar reações envolvendo essas moléculas. Esses achados corroboram de modo substancial as teorias que pregam que vários processos essenciais à vida começaram por meio da versatilidade química de pequenos polinucleotídeos (situação conhecida como o mundo do RNA)

As próprias moléculas de RNA também deveriam ter sido formadas de modo espontâneo. No entanto, os desafios a serem superados e a viabilidade química dessa formação não é apresentada e nem discutida nos livros-texto analisados.

Uma molécula de RNA consiste numa sequência de nucleotídeos, os quais são constituídos por ribose, bases nitrogenadas e fosfato (**Figura 6**).

Figura 6: Ilustração de dois nucleotídeos de RNA nos quais se mostra o grupo fosfato, a ribose e o ponto de ligação com as bases nitrogenadas (**A**). Bases nitrogenadas que compõem o RNA (**B**).



Fonte: Figura elaborada pelo autor a partir do software ChemDraw® Ultra 7.0.

A formação espontânea de RNA requereria que esses três constituintes reagissem entre si originando alguns nucleotídeos, os quais, em seguida, deveriam ser polimerizados em moléculas de RNA. Todas as reações químicas ocorreriam sem o auxílio do maquinário bioquímico existente nos seres vivos, e a obtenção dos produtos adequados, dentre todas as possibilidades, seriam guiados por fatores cinéticos, termodinâmicos e pelas leis de probabilidade. Na escala de tempo geológico teriam se passado cerca de 400 milhões de anos entre a formação das primeiras moléculas orgânicas e o período conhecido como mundo de RNA (**Figura 3**).

Como dito por Wald (1954), na concepção darwiniana de evolução da vida “o tempo realiza milagres”. No entanto, Larralde, Robertson e Miller (1995) e Miller e Levy (1998) afirmam que em função da baixa estabilidade das moléculas orgânicas frente aos cenários propostos para o surgimento espontâneo da vida, o tempo é um dos maiores desafios a ser superado pela “evolução química”. Oceanos quentes, intensa radiação e outras drásticas características físicas e químicas do mundo prebiótico, como a acidez e a salinidade das águas, reduzem significativamente o tempo de meia-vida das moléculas orgânicas que constituem os polímeros encontrados nos seres vivos.

Os cenários prebióticos mais comuns apresentam estimativas para as temperaturas oceânicas compreendidas entre 80 °C e 130 °C (DAMINELI; DAMINELI, 2007). Moléculas de ribose, adenina, guanina, citosina e uracila, constituintes do RNA, deveriam ter estabilidade diante dessas temperaturas elevadas por longos períodos de tempo, cerca de 400 milhões de anos, desde o momento de sua formação até a subsequente polimerização (**Figura 3**). Assim, a velocidade de síntese dessas moléculas deveria superar a velocidade de sua decomposição, de modo que a concentração nos oceanos não fosse extremamente diluída.

A viabilidade química desses cenários, no tocante à estabilidade molecular em função da temperatura ambiente, foi investigada experimentalmente. O tempo de meia-vida, isto é, o tempo necessário para que a concentração de uma dada substância seja reduzida pela metade no meio reacional em que se encontra, é uma estimativa da estabilidade molecular. As bases nitrogenadas que constituem a molécula de RNA apresentaram tempo de meia-vida extremamente curtos quando comparados à escala de tempo geológico (MILLER; LEVY, 1998).

A Tabela 3 mostra que se o meio reacional fosse mantido a 80 °C a uracila teria sua concentração reduzida pela metade em 12 anos. As concentrações iniciais das bases nitrogenadas adenina e guanina seriam reduzidas à metade em um ano, enquanto que a citosina teria apenas 19 dias como tempo de meia-vida nas condições reacionais utilizadas.

Tabela 3: Tempos de meia-vida em duas diferentes temperaturas para as bases nitrogenadas que constituem o RNA. Informações reproduzidas de *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95, 7933-7938, 1998

Base Nitrogenada	Meia-vida	
	100 °C	0 °C
Adenina	1 ano	10 ⁶ anos
Guanina	1 ano	10 ⁶ anos
Uracila	12 anos	10 ⁶ anos
Citosina	19 dias	17000 anos

Fonte: Miller e Levy (1998).

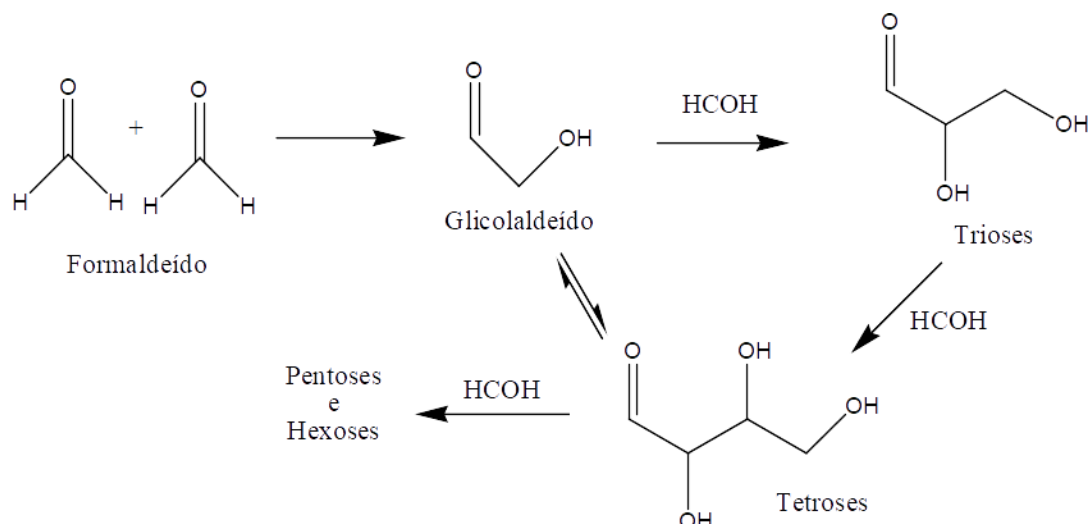
As bases nitrogenadas que constituem o RNA se mostraram instáveis até mesmo quando se estudou suas cinéticas de degradação a 0° C, e o maior tempo de meia-vida estimado seria de 1 milhão de anos.

Estes resultados sugerem ainda que o aquecimento das águas oceânicas em função da queda de meteoritos, que teriam impacto negativo na formação espontânea de polímeros, uma vez que se constatou que o aumento da velocidade de degradação das moléculas orgânicas tem uma relação direta com o aumento de temperatura. Assim, ainda que se encontre em meteoros moléculas orgânicas que também são encontradas nos seres vivos, a suposição de que as águas oceânicas da Terra primitiva teriam sido enriquecidas com moléculas provenientes do espaço é cada vez mais questionável.

Outro constituinte do RNA que deveria ter sido formado de modo abundante nos oceanos primitivos é a ribose. Porém, as reações químicas que teriam levado à sua obtenção em quantidades significativas nas condições prebióticas ainda não foram totalmente estabelecidas. A reação da formose (**Figura 7**), descoberta em 1861, ainda é a única via de síntese prebiótica da ribose aceita pela comunidade científica (KOPETZKI; ANTONIETTI, 2011). A partir do formaldeído, um composto orgânico

simples, essa via autocatalítica permite a obtenção da ribose, uma pentose, e também de uma complexa mistura de carboidratos.

Figura 7: Mecanismo simplificado da reação da formose levando à formação de várias hexoses e pentoses.



Fonte: Figura elaborada pelo autor a partir do software ChemDraw® Ultra 7.0.

Apesar da formação de ribose em condições prebióticas ser plausível, a sua velocidade de síntese é baixa em relação às velocidades de síntese dos outros produtos possíveis de serem formados. Assim, na ausência de fatores que favoreçam a formação de ribose o seu lento acúmulo seria mais um obstáculo à formação espontânea de nucleotídeos de RNA. É aceito na comunidade científica que a reação da formose não poderia ter desempenhado nenhum papel significativo para a origem espontânea da vida na Terra (KOPETZKI; ANTONIETTI, 2011).

Mesmo que mecanismos alternativos de formação da ribose em condições prebióticas viessem a ser descobertos posteriormente, ainda há o problema da estabilidade. Estudos cinéticos sobre a estabilidade da ribose foram realizados (MILLER et al., 1995), e os resultados mostraram que as condições propostas para a Terra primitiva são ainda mais drásticas para os açúcares em comparação com as bases nitrogenadas.

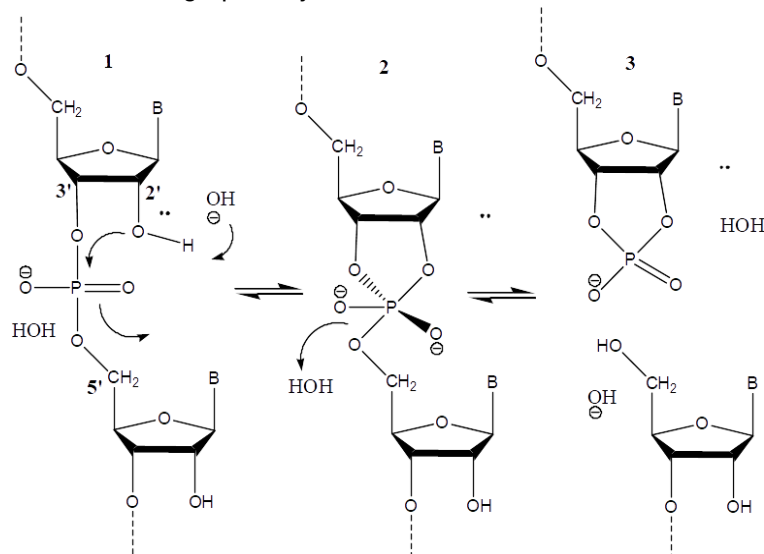
Utilizando meios reacionais com temperatura igual a 100°C , o tempo de meia-vida da ribose foi de apenas 73 minutos, e quando as medidas da velocidade de decomposição foram feitas a 0°C , as estimativas mostraram que nessa temperatura a

concentração da ribose era reduzida pela metade a cada 44 anos (LARRALDE; ROBERTSON; MILLER, 1995). Diante desses resultados e tendo o conhecimento de que o aumento da concentração da ribose em função de sua síntese não é significativo, como mostrado anteriormente, os autores do estudo concluíram que a estrutura molecular dos primeiros polímeros que originaram o material genético dos seres vivos não poderiam conter ribose ou qualquer outro açúcar em função da baixa estabilidade dessa classe de compostos orgânicos.

Vale ressaltar também que ainda que a ribose fosse formada em quantidades significativas e tivesse estabilidade suficiente para persistir ao longo do tempo geológico, vindo a constituir nucleotídeos, a estabilidade da ligação fosfodiéster entre nucleotídeos sucessivos seria outro desafio que deveria ser superado para que fosse possível a formação espontânea de moléculas de RNA.

Na ligação fosfodiéster o grupo 5'-hidroxila de uma unidade nucleotídica está covalentemente ligado ao grupo 3'-hidroxila do nucleotídeo seguinte por uma ponte de fosfato. Na posição 2' das moléculas de ribose há uma hidroxila livre adjacente ao átomo de fósforo que integra a ligação fosfodiéster. Essa proximidade permite uma reação de transesterificação entre esses dois grupos, resultando na ruptura da ligação fosfodiéster entre nucleotídeos sucessivos inviabilizando o crescimento do polímero quando os nucleotídeos são submetidos a condições espontâneas de reação química (**Figura 8**).

Figura 8: Mecanismo de ruptura da ligação fosfodiéster pela reação química entre os grupos adjacentes fosfato e 2'-hidroxila.



Fonte: Figura elaborada pelo autor a partir do software ChemDraw® Ultra 7.0.

Os autores mostraram ainda que esta reação química tem cinética de primeira ordem, de modo que quanto maior a temperatura do meio reacional maior a velocidade da reação de rompimento das ligações fosfodiéster. Nos seres vivos essas ligações são protegidas por um complexo e intrincado conjunto de proteínas, possibilitando que as moléculas de RNA permaneçam no organismo pelo tempo necessário ao desempenho das atividades biológicas que lhes são inerentes (ALBERTS et al., 2013). Assim, as características propostas para a Terra prebiótica mais uma vez inviabilizam a formação espontânea de moléculas de RNA.

As obras analisadas neste estudo apresentam aos leitores o suposto mundo de RNA como um dos eventos que teriam contribuído fortemente para o surgimento espontâneo da vida na Terra. No entanto, os estudos versando sobre a estabilidade química dos monômeros constituintes dos ácidos nucleicos mostraram que essas moléculas orgânicas são altamente instáveis nas supostas condições prebióticas, o que impossibilitaria a formação de polímeros de nucleotídeos. Apesar disso, os livros-textos que abordam o tema da origem da vida não apresentam nenhuma das limitações apontadas anteriormente, o que implica no fato de ir contra o que diz documentos oficiais que regem a educação do país, como os PCNs para o Ensino Médio – Parte I (BRASIL, 2000a), PCNs para o Ensino Médio – Parte III (BRASIL, 2000b), LDBEN (BRASIL, 1996) e BNCC (BRASIL, 2018), no que tange ao desenvolvimento da autonomia intelectual e desenvolvimento do pensamento crítico, uma vez que para que o pensamento científico, crítico e a autonomia intelectual exigem que existam informações suficientes disponíveis para que o estudante possa confrontá-las a fim de estabelecer um julgamento e opiniões próprias a respeito das mesmas, para que assim seu aprendizado progrida de maneira satisfatória.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente o ensino de Biologia vem sendo trabalhado de maneira descontextualizada da sociedade e de forma dogmática na maioria de nossas escolas, os estudantes não conseguem relacionar efetivamente o que estudam em ciência e o seu cotidiano, levando-os a entender que o estudo de ciências trata-se puramente da memorização de nomes complexos, classificação, caracterização de fenômenos e resolução de problemas de maneira mecânica (SANTOS, 2008), e para contornar este problema os órgãos responsáveis pela educação no país tomarem medidas e desenvolver estratégias efetivas para melhorar o ensino do conhecimento científico.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), de 1996 expressa a urgência da reorganização da educação básica, com o intuito de solucionar os desafios impostos pelas transformações dos processos globais e sociais por eles gerados na sociedade contemporânea na área das ciências biológicas (BORGES; LIMA, 2007; DE MORAIS, 2009).

Um grande problema a se considerar é a abordagem do assunto nos livros didáticos de Biologia, que muitas vezes não trazem informações condizentes com os estudos/pesquisas científicas na área, introduzindo informações que não são necessárias para o estudo da origem da vida em si, além do fato de que muitas vezes dentro do conteúdo em questão trabalhado nos livros-texto de Biologia são abordados em caráter “definitivo”, não deixando claro ou mesmo não trazendo os muitos problemas e limitações na perspectiva da química/bioquímica sobre os supostos eventos que originaram a vida na terra que existem nas propostas que trazem.

As propostas para a origem da vida na terra são voltadas para as condições na qual a Terra primitiva se encontrava e como poderia ter surgido a vida, e não como o universo se originou ou o que exatamente aconteceu depois que o primeiro ser vivo surgiu, sendo este último um assunto a ser discutido no estudo da Evolução dos seres vivos, em algum outro capítulo e o penúltimo na disciplina de Física e seus livros didáticos.

Nesse contexto, observou-se que livros didáticos de Biologia do Ensino Médio não abordam adequadamente as propostas para a origem da vida na terra, deixando lacunas em sua abordagem, trazendo informações desnecessárias/desconexas ao

conteúdo, além de omitir os problemas e limitações deste campo de estudo. Este é um problema identificado não apenas livros do Ensino Médio de Biologia, mas também diversos livros didáticos de Biologia Celular, Biologia Molecular e Bioquímica usados no Ensino Superior em cursos de Ciências Biológicas e demais cursos fazem uso dos conteúdos biológicos e bioquímicos.

Tendo em vista os problemas citados fez-se necessário realizar uma análise crítica das propostas trabalhadas nos livros-textos de Biologia e propor melhorias na abordagem do tema nos mesmos, como a abordagem das propostas para a origem da vida na Terra trazendo os problemas e limitações químicas que elas possuem ou transferi-las para um livro didático de Química que possa abordar os aspectos químicos e bioquímicos da origem da vida na Terra.

REFERÊNCIAS

ALBERTS, B. et al. **Biologia molecular da célula**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

ALBERTS, B. et al. **Essential cell biology**. 4th ed. Garland Science, 2013.

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Biologia moderna: Amabis & Martho**. 1. ed. São Paulo: Editora Moderna, 2016.

BARCELOS, E. D. **A sopa quente: breve histórico das teorias sobre a origem da vida e a vida extraterrestre (1920-1959)**. CONSELHO EDITORIAL, v. 4, n. 6, p. 9-20, 1999.

BERNAL, J. D. **The Phisycal Basis fo Life**. Routledge and Kegan Paul Ltd.: London, 1951.

BORGES, R. M. R.; LIMA, V. M. do R. **Tendências contemporâneas do ensino de Biologia no Brasil**. Revista electrónica de Enseñanza de las Ciências, v. 6, n. 1, p. 165-175, 2007.

BRASIL. Lei n.º 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Legislação. Brasília: Casa Civil da Presidência da República. 1996.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular: educação é a base**. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais ensino médio: Parte I – Bases Legais**. Brasília: SEMTEC/MEC, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais ensino médio: Parte III – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: SEMTEC/MEC, 2000.

CALLAHAN, M. P. et al. **Carbonaceous meteorites contain a wide range of extraterrestrial nucleobases**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 108, n. 34, p. 13995-13998, 2011.

CAREY, F. A. **Química Orgânica-Vol. 2**. AMGH Editora, 2009.

CHALMERS, A. F.; FIKER, R. **O que é ciência afinal?**. São Paulo: Brasiliense, 1993.

CLAYDEN, J.; GREEVES, N. J.; WARREN, S. **Organic Chemistry**. 2th Ed. Oxford: Oxford university Press, 2012.

DAMINELI, A.; DAMINELI, D. S. C. **Origens da vida**. Estudos avançados, v. 21, n. 59, p. 263-284, 2007.

DA FONSECA, R. C. V. **Metodologia Do Trabalho Científico**. IESDE BRASIL SA, 2016.

DA ROSA, C. W.; DA ROSA, Á. B. **O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais**. Revista Iberoamericana de Educación, n. 58/2, 2012.

DAVID, L. N.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6ª edição. Porto Alegre: Artmed Editora, 2014.

DE MORAIS, F. A. **O ensino de Ciências e Biologia nas turmas de EJA: experiências no município de Sorriso-MT**. Revista Iberoamericana de Educación, v. 48, n. 6, p. 1-6, 2009.

FAGUNDES, W. A. et al. **Metodologia de ensino de biologia relacionada à temática biotecnologia**. III Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia. Ponta Grossa, PR: v. 26, 2012.

FURUKAWA, Y. et al. **Extraterrestrial ribose and other sugars in primitive meteorites**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 116, n. 49, p. 24440-24445, 2019.

GILBERT, W. **Origin of life: The RNA world**. nature, v. 319, n. 6055, p. 618-618, 1986.

HAYATSU, R. **Orgueil meteorite: organic nitrogen contents**. Science, v. 146, n. 3649, p. 1291-1293, 1964.

JOYCE, G. F. **The antiquity of RNA-based evolution**. Nature, v. 418, n. 6894, p. 214-221, 2002.

KRASILCHIK, M. **Caminhos do ensino de ciências no Brasil**. Em Aberto, v. 11, n. 55, 2008.

KRASILCHIK, M. **Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências**. São Paulo em perspectiva, v. 14, n. 1, p. 85-93, 2000.

KLAPPER, M. H. **The independent distribution of amino acid near neighbor pairs into polypeptides**. Biochemical and biophysical research communications, v. 78, n. 3, p. 1018-1024, 1977.

KOPETZKI, D.; ANTONIETTI, M. **Hydrothermal formose reaction**. New Journal of Chemistry, v. 35, n. 9, p. 1787-1794, 2011.

KRUGER, K. et al. **Self-splicing RNA: autoexcision and autocyclization of the ribosomal RNA intervening sequence of Tetrahymena**. cell, v. 31, n. 1, p. 147-157, 1982.

LARRALDE, R.; ROBERTSON, M. P.; MILLER, S. L. **Rates of decomposition of ribose and other sugars: implications for chemical evolution**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 92, n. 18, p. 8158-8160, 1995.

LEVY, M.; MILLER, S. L. **The stability of the RNA bases: implications for the origin of life**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 95, n. 14, p. 7933-7938, 1998.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F.; PACCA, H. **Biologia Hoje**. 1ª. ed. São Paulo: Ática, 2016.

LOPES, S.; ROSSO, S. **Bio: Volume 1**. São Paulo: Saraiva, 2016.

MENDONÇA, V. L.; LAURENCE, J. **Biologia: Volume 1**. 3ª. ed. São Paulo: Editora AJS, 2016.

MILLER, S. L. et al. **A production of amino acids under possible primitive earth conditions**. Science, v. 117, n. 3046, p. 528-529, 1953.

NARDI, R.; DE ALMEIDA, M. J. P. M. **Formação da área de ensino de ciências: memórias de pesquisadores no Brasil**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 4, n. 1, 2004.

OGO, M. Y.; GODOY, L. **#Contato Biologia 1**. 1. ed. Quinteto Editorial, São Paulo, 2016.

OUVERNEY, R. R.; LAGE, D. A. **A origem da vida na educação básica: uma abordagem a partir do método científico**. Revista Práticas em Educação Básica, v. 1, 2016.

PEDRANCINI, V. D. et al. **Ensino e aprendizagem de Biologia no ensino médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico**. Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias, v. 6, n. 2, p. 299-309, 2007.

SANTOS, W.L.P. **Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica**. Ciência & Ensino, 1, número especial, p. 1-12, 2008. Disponível em: <<http://200.133.218.118:3536/ojs/index.php/cienciaeensino/article/viewFile/149/120>>. Acesso em: 07 nov. 2019.

STOKS, P. G.; SCHWARTZ, A. W. **Uracil in carbonaceous meteorites**. Nature, v. 282, n. 5740, p. 709-710, 1979.

STOKS, P. G.; SCHWARTZ, A. W. **Nitrogen-heterocyclic compounds in meteorites: significance and mechanisms of formation**. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 45, n. 4, p. 563-569, 1981.

TEIXEIRA, P. M. M.; NETO, J. M. **Investigando a pesquisa educacional. Um estudo enfocando dissertações e teses sobre o ensino de Biologia no Brasil.** Investigações em Ensino de Ciências, v. 11, n. 2, p. 261-282, 2016.

TIRARD, S. **JBS Haldane and the origin of life.** Journal of genetics, v. 96, n. 5, p. 735-739, 2017.

VOET, D.; VOET, J. G.; PRATT, C. W. **Fundamentos de Bioquímica: A Vida em Nível Molecular.** Artmed Editora, 2014.

YANOFSKY, N. S. **Paradoxes, contradictions, and the limits of science.** American Scientist, v. 104, n. 3, p. 166-174, 2016.

WALD, G. **The origin of life.** Scientific American, v. 191, n. 2, p. 44-53, 1954.

ZAIA, D. A. M.; VIEIRA, H. J.; ZAIA, C. T. B. V. **Adsorption of L-amino acids on sea sand.** Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 13, n. 5, p. 679-681, 2002.

ZAIA, D. A. M.; ZAIA, C. T. B. V. **Adsorção de aminoácidos sobre minerais e a origem da vida.** Química Nova, v. 29, n. 4, p. 786-789, 2006.

ZAIA, D. A. M.; ZAIA, C. T. B. V. **Algumas controvérsias sobre a origem da vida.** Química Nova, v. 31, n. 6, p. 1599-1602, 2008.