UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Contribuição de conceitos químicos ao estudo da origem da vida na disciplina de Biologia

Flávio Oliveira Roca

São Paulo
2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Contribuição de conceitos químicos ao estudo da origem da vida na disciplina de Biologia

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para obtenção do Título de Mestre em Educação

Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Orientado: Flávio Oliveira Roca
Orientador: Nelio Marco Vincenzo Bizzo

São Paulo
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catalogação na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

375.2 Roca, Flávio Oliveira
R669c Contribuição de conceitos químicos ao estudo da origem da vida na disciplina de biologia. Flávio Oliveira Roca; orientação Nelio Marco Vincenzo Bizzo São Paulo: s.n., 2012.
72 p.; il

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Educação. Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática) - - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

1. Ciência (estudo e ensino) 2. Livro didático 3. Biologia (estudo e ensino) I. Bizzo, Nelio Marco Vincenzo, orient.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do aluno: Flávio Oliveira Roca
Título do trabalho: Contribuição de conceitos químicos ao estudo da origem da vida na disciplina de Biologia

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para obtenção do Título de Mestre em Educação

Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Nelio Marco Vincenzo Bizzo

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____
Instituição: _____
Assinatura:_____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____
Assinatura:_____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____
Assinatura:_____

Agradeço a todos que me ajudaram nessa caminhada de aprimoramento, repleta de respostas que suscitaram mais perguntas e de desafios que me impulsionaram para frente.

...se responder não pude à pergunta que fazia, ela, a vida, a respondeu com sua presença viva.

João Cabral de Melo Neto, *Morte e vida severina*

RESUMO

ROCA, Flávio Oliveira. **Contribuição de conceitos químicos ao estudo da origem da vida na disciplina de Biologia**. 2012. 72p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Esta pesquisa apresenta os resultados de um levantamento empírico de livros didáticos de Biologia e Química aprovados no PNLEM 2007, no sentido de investigar as demandas de conceitos químicos no estudo de uma temática própria da disciplina de Biologia: a origem da vida. Adicionalmente, esta dissertação coteja essas demandas conceituais com os correspondentes saberes químicos sequenciados nos capítulos das coleções de Química e discute a potencial interlocução entre os conjuntos de saberes das duas disciplinas, visto que fazem parte da mesma área do conhecimento escolar. Considerando-se todas as obras divididas em três volumes – um para cada ano do Ensino Médio – e excetuando-se os volumes únicos, foram analisados os capítulos que tratam da origem da vida em quatro coleções de Biologia e todo o conteúdo programático de duas obras de Química. Reconhecendo a relevância do livro didático no cenário educacional brasileiro, o caráter notadamente disciplinar do currículo e as especificidades do ensino de Ciências, este trabalho reúne argumentos teóricos que fundamentam a necessidade de um olhar abrangente sobre a realidade, sempre complexa e multifacetada.

Palavras-chave: 1. Ensino de Ciências. 2. Livro didático. 3. Origem da vida.

ABSTRACT

ROCA, Flávio Oliveira. **Contribution of chemical concepts to the study of the origin of life in the discipline of Biology**. 2012. 72p. Dissertation (Master). Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

This research presents the results of an empirical survey from textbooks of Biology and Chemistry approved in PNLEM 2007, to investigate the demands of chemical concepts in the study of one the subjects in Biology: the origin of life. In addition to that, this dissertation collates these conceptual demands with the corresponding chemical knowledge sequenced in chapters of the chemical collections and discusses the potential dialogue between the sets of knowledge of those two disciplines, as part of the same area of school knowledge. Considering the works divided into three volumes – one for each year of high school – and except for the single volumes, were analyzed the chapters dealing with the origin of life in four collections of Biology and whole academic program in two works of Chemistry. Recognizing the relevance of the textbook in Brazilian educational scenario, the notably disciplinary character of the curriculum and the specificities of Natural Sciences who originated the school disciplines of Biology and Chemistry, this work gathers theoretical arguments that justify the need for a comprehensive look at the reality, always complex and multifaceted.

Keywords: 1. Science Teaching. 2. Textbook. 3. Origin of life.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Livros didáticos de Biologia aprovados no PNLEM 2007 e analisados nesta pesquisa.....17

Tabela 02 – Livros didáticos de Química aprovados no PNLEM 2007 e analisados nesta pesquisa..... 18

Tabela 03 – Localização da temática sobre a origem da vida nos conteúdos programáticos das obras analisadas de Biologia..... 19

Tabela 04 – Tópicos sobre a origem da vida em OB1 cuja abordagem necessita dos saberes químicos discriminados..... 20

Tabela 05 – Tópicos sobre a origem da vida em OB2 cuja abordagem necessita dos saberes químicos discriminados.....20

Tabela 06 – Tópicos sobre a origem da vida em OB3 cuja abordagem necessita dos saberes químicos discriminados..... 21

Tabela 07 – Tópicos sobre a origem da vida em OB4 cuja abordagem necessita dos saberes químicos discriminados.....21

Tabela 08 – Quadro indicativo dos tópicos sobre a origem da vida que demandam os saberes químicos discriminados e localizados nas obras de Química..... 22

Tabela 09 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Simbologia química – representação de elementos e substâncias” (coleções de Química)..... 24

Tabela 10 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Simbologia química – representação de reações químicas” (coleções de Química)..... 25

Tabela 11 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Estrutura atômica” (coleções de Química)..... 26

Tabela 12 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Reação química – aspectos quantitativos” (coleções de Química)..... 27

Tabela 13 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Ligações químicas” (coleções de Química)..... 28

Tabela 14 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Termoquímica” (coleções de Química)..... 29

Tabela 15 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Cinética química” (coleções de Química)..... 30

Tabela 16 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Eletroquímica” (coleções de Química)..... 31

Tabela 17 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Transformações nucleares” (coleções de Química)..... 32

Tabela 18 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Química orgânica e bioquímica” (coleções de Química)..33

Tabela 19 – Quadro geral das associações entre a temática sobre a origem da vida abordada nas quatro obras de Biologia e as categorias químicas dispostas nos conteúdos programáticos das duas obras de Química..... 34

Tabela 20 – Características dos seres vivos conforme os textos das obras de Biologia analisadas..... 43

Tabela 21 – Abordagem da teoria da evolução dos sistemas químicos de acordo com as obras de Biologia analisadas..... 53

Tabela 22 – Abordagem dos aspectos ligados à instalação e à manutenção funcional dos primeiros seres vivos de acordo com as obras de Biologia analisadas..... 54

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Representação esquemática do equilíbrio dinâmico entre a fotossíntese e a respiração aeróbia..... 58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATP – trifosfato de adenosina

PNLEM – Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

RNA – Ácido ribonucleico

SUMÁRIO

1) Introdução 14

2) Material e método empregado..... 17

3) Resultados da pesquisa..... 19
3.1) Demandas de conceitos da Química na abordagem temática sobre a origem da vida nos livros de Biologia..... 19
3.1.1) Tabulação de OB1..... 20
3.1.2) Tabulação de OB2..... 20
3.1.3) Tabulação de OB3..... 21
3.1.4) Tabulação de OB4..... 21
3.2) Cotejo entre as demandas de conceitos químicos requeridos por Biologia e a localização de tais conceitos nos livros didáticos de Química..... 23
3.2.1) Simbologia química (representação de elementos e substâncias)..... 24
3.2.2) Simbologia química (representação de reações químicas)..... 24
3.2.3) Estrutura atômica..... 25
3.2.4) Reação química (aspectos quantitativos)..... 26
3.2.5) Ligações químicas..... 27
3.2.6) Termoquímica..... 28
3.2.7) Cinética química..... 29
3.2.8) Eletroquímica..... 30
3.2.9) Transformações nucleares..... 31
3.2.10) Química orgânica e bioquímica..... 32
3.2.11) Quadro geral..... 33
3.3) Síntese dos resultados..... 35

4) Argumentos em favor de um diálogo entre Biologia e Química..... 37
4.1) Finalidades e especificidades do ensino de Ciências da Natureza..... 37
4.2) Conceito de vida..... 42
4.3) Ensino de Ciências à luz do conceito de *aprendizagem significativa*..... 46

5) Potencial complementaridade entre os conjuntos de saberes de Biologia e Química..... 50
5.1) Assuntos articuladores..... 51
5.1.1) Teoria da evolução dos sistemas químicos..... 52
5.1.2) Instalação e manutenção funcional dos primeiros seres vivos..... 53
5.2) Contribuições específicas de saberes químicos..... 55
5.2.1) Emprego de nomenclatura e simbologia próprias da Química..... 55
5.2.2) Aspectos qualitativos e quantitativos das reações químicas..... 57
5.2.2.1) Fotossíntese e respiração aeróbia..... 58
5.2.2.2) Equacionamento químico..... 59
5.2.3) Aspectos físico-químicos associados às reações..... 61
5.2.4) Fundamentos de química orgânica e bioquímica..... 64

6) Considerações finais..... 67

7) Bibliografia..... 70
7.1) Fontes..... 70
7.2) Referências bibliográficas..... 70

1) Introdução

A transição curricular que ocorre entre o Ensino Fundamental e o Ensino Médio, no que se refere ao ensino de Ciências, vai muito além de uma mera troca de designações e nomenclaturas. Terminado o último ano do Ensino Fundamental, a disciplina de Ciências desmembra-se nas disciplinas de Química, Biologia e Física no transcurso do Ensino Médio. Os conteúdos curriculares dessas três últimas disciplinas ganham especificidade e aprofundamento nos conceitos. Como efeito indesejável, muitos estudantes consideram as temáticas enfocadas em Química, Física e Biologia incomunicáveis entre si, cada uma compartimentada de tal maneira em seu universo teórico que não parecem ser componentes de um pensamento científico mais amplo, tornando-se virtualmente inconsistentes tanto para o profissional que leciona quanto para o aluno que estuda.

Para o estudante, não fica bem claro o motivo da multiplicação disciplinar nessa nova etapa da Educação Básica, uma vez que pouco se percebe uma continuidade conceitual entre o término do Ensino Fundamental e o princípio do Ensino Médio. Nos momentos iniciais, as disciplinas recém-chegadas parecem desconsiderar, em maior ou menor grau, as temáticas já abarcadas por Ciências em anos anteriores, o que as faz apresentarem – ou repetirem – conteúdos iguais ou correlatos praticamente de um “marco zero”, mas com ares mais ameaçadores. Então, aos olhos do aluno, a “palatável” disciplina de Ciências cede lugar às “difíceis e cansativas” disciplinas de Química, Física e Biologia.

Além disso, é conveniente mencionar que saberes mais relacionados à Química e Física são abordados de modo muito desigual no Ensino Fundamental; variam de professor para professor, de escola para escola, de livro para livro. Obviamente, a formação do professor de Ciências tem grande relevância nesse aspecto, pois o domínio e/ou afinidade com certa disciplina o impelirá a enfatizá-la em seu trabalho docente cotidiano, relegando aos aspectos básicos aquelas com as quais não lida com igual desenvoltura.

Integrando esse quadro sobre a falta de articulação entre as disciplinas citadas anteriormente, o material instrucional – por excelência, o livro didático – realiza o mesmo percurso tortuoso, uma vez que é recorrente verificar a sequência

dos saberes de uma obra pouco encadeada com os saberes escalonados por um livro de outra disciplina da mesma área do conhecimento escolar.

Tome-se, por exemplo, o estudo sobre a origem da vida, saber escolar que se inscreve entre os temas tratados pelos livros didáticos de Biologia, aqui considerados apenas aqueles divididos em três volumes e aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2007. Em três das quatro obras analisadas, de acordo com o posicionamento dos capítulos – os primeiros volumes de cada coleção –, o assunto é apresentado ainda no primeiro ano do Ensino Médio. Nesse mesmo período, em sua maioria, os saberes de Química demandados para esse tema não foram ainda apresentados ou se encontram em fase inicial de abordagem pelos dois livros analisados de Química, esses igualmente aprovados pelo PNLEM de 2007 e divididos em três volumes.

É importante pontuar que a investigação desta pesquisa não está centrada na contestação à disciplinaridade do conhecimento escolar, algo, aliás, pretensioso e pouco efetivo; o aspecto discutível de se dissociar conceitualmente duas disciplinas de mesma área é o comprometimento do ganho cognitivo de um pensamento científico articulado, e, portanto, mais consistente. Trata-se de um desperdício pedagógico deixar estanques conceitos que poderiam interagir favoravelmente entre Biologia e Química, potencializando experiências de aprendizagem; além do mais, essas interações conceituais – justificadamente desejáveis – não impediriam que cada disciplina transcorresse em sua estrutura e propósitos específicos.

Os *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*, em seu texto dedicado às Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, ressaltam, como objetivos das disciplinas integrantes, a administração dessa via dupla da especificidade-interdisciplinaridade. Por um lado, os *Parâmetros* preconizam o aprofundamento dos saberes disciplinares com metas formativas e até mesmo procedimentos didáticos particulares; por outro lado, recomendam a articulação interdisciplinar dos saberes pelo uso de temáticas tecnológicas e práticas, adequadas a uma perspectiva de integração (1999, p.6).

Os *Parâmetros* argumentam desse modo:

> Note-se que a interdisciplinaridade do aprendizado científico e matemático não dissolve nem cancela a indiscutível disciplinaridade do conhecimento. O grau de especificidade efetivamente presente nas distintas ciências, em parte também nas tecnologias associadas, seria difícil de se aprender no Ensino Fundamental, estando naturalmente reservado ao Ensino Médio. Além disso, o conhecimento científico disciplinar é parte tão essencial da

> cultura contemporânea que sua presença na Educação Básica e, consequentemente, no Ensino Médio, é indiscutível. Com isso, configuram-se as características mais distintivas do Ensino Médio, que interessam à sua organização curricular. (p.6)

Entretanto, verificar-se-á pelo conteúdo desta pesquisa que a administração da via de mão dupla especificidade-interdisciplinaridade não é simples nem tem sido conduzida a contento, seja pelos professores da área, seja pelos livros didáticos que se propõem, ao menos em concepção, a estabelecer pontes entre as disciplinas.

A presente dissertação transcreveu uma pesquisa cujo arcabouço pode ser explicitado em três objetivos essenciais:

(A) Detectar as demandas de conceitos da Química na abordagem temática sobre a origem da vida nos livros de Biologia aprovados no PNLEM 2007. Esse mapeamento diagnosticará os conceitos químicos cujas menções na temática sobre a origem da vida carecem de subsídios originários da Química.

(B) Cotejar tais demandas com os conteúdos presentes nos correspondentes capítulos dos livros de Química aprovados no PNLEM 2007. Nessa etapa, serão identificados e localizados nas obras de Química os conceitos desta disciplina demandados por Biologia, a fim de se identificarem os eventuais vínculos e distanciamentos temporais entre os saberes interligados desses dois componentes curriculares.

(C) Discutir a potencial complementaridade desses dois conjuntos de saberes, argumentando em favor de um diálogo dentro da mesma área do conhecimento escolar. A partir dos resultados extraídos das etapas anteriores, terá lugar uma discussão sobre os aspectos que podem ser articulados por Biologia e Química na constituição de uma aprendizagem mais consistente e abrangente.

2) Material e método empregado

O levantamento empírico teve como alicerce a análise dos livros didáticos de Biologia e Química aprovados no Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2007, sendo escolhidos apenas aqueles que se apresentassem em três volumes, não em volumes únicos. A opção pelas obras selecionadas no PNLEM se justificou pela grande representatividade desse programa conduzido pelo governo federal no tocante à distribuição de material instrucional no Brasil. Por sua vez, a escolha apenas de livros didáticos divididos em três volumes garantiu uma análise capaz de estabelecer maior e melhor correspondência entre os conteúdos das diversas obras, em virtude de certa homogeneidade temporal na divisão desses saberes pelas coleções. Além disso, selecionar livros didáticos estruturados em volumes únicos seria um procedimento contrário às disposições mais recentes do Programa Nacional do Livro Didático, entre as quais a preferência expressa por esse programa em escolher apenas livros seriados.

As duas tabelas a seguir enumeram os livros didáticos de Biologia e Química constituintes desta pesquisa. Há em ambas as tabelas uma coluna com o título “Obra”, que corresponde a uma forma abreviada de citar esses livros ao longo do trabalho.

Livros de Biologia

Autor(es)	Apresentação (volumes, capítulos e páginas)	Editora	Número da obra (catálogo do PNLEM)	Obra
César da Silva Júnior e Sezar Sasson	V.1 - 23 cap., 400 p. V.2 - 38 cap., 525 p. V.3 - 22 cap., 480 p.	Saraiva	15016	OB1
José Mariano Amabis e Gilberto Rodrigues Martho	V.1 - 19 cap., 464 p. V.2 - 20 cap., 610 p. V.3 - 18 cap., 438 p.	Moderna	15056	OB2
Wilson Roberto Paulino	V.1 - 21 cap., 320 p. V.2 - 20 cap., 352 p. V.3 - 20 cap., 304 p.	Ática	15078	OB3
Oswaldo Frota-Pessoa	V.1 - 24 cap., 344 p. V.2 - 24 cap., 320 p. V.3 - 25 cap., 304 p.	Scipione	15096	OB4

Tabela 01 – Livros didáticos de Biologia aprovados no PNLEM 2007 e analisados nesta pesquisa.

Livros de Química

Autor(es)	Apresentação (volumes, capítulos e páginas)	Editora	Número da obra (catálogo do PNLEM)	Obra
Francisco Miragaia Peruzzo e Eduardo Leite do Canto	V.1 - 15 cap, 344 p. V.2 - 12 cap, 344 p. V.3 - 11 cap., 264 p.	Moderna	015038	OQ1
Ricardo Feltre	V.1 - 14 cap, 384 p. V.2 - 10 cap, 417 p. V.3 - 17 cap., 427 p.	Moderna	015040	OQ2

Tabela 02 – Livros didáticos de Química aprovados no PNLEM 2007 e analisados nesta pesquisa.

A primeira parte do levantamento empírico consistiu em localizar, em cada obra de Biologia (OB1, OB2, OB3 e OB4), um eventual trecho ou setor que abordasse mais detidamente a discussão sobre a origem da vida e as derivações dessa temática, para que se estabelecesse um conjunto de conceitos e enfoques recorrentes na apresentação do tema.

Nessa leitura, foram relacionados simultaneamente os saberes químicos conceitualmente relacionados às informações constantes nos textos de Biologia, de modo a identificar lacunas químicas na exposição da temática biológica. Tais saberes químicos foram agrupados em categorias conforme a similaridade entre os grandes temas de estudo da Química e as habilidades requeridas por esses: simbologia química, equacionamento de reações, cinética, química orgânica, entre outros.

A próxima etapa encaminhou-se para o cotejo dessas demandas “externas” à Biologia com os saberes químicos inscritos nos conteúdos programáticos das duas coleções de Química (OQ1 e OQ2). A fim de se construir uma linha de tempo comparativa entre os estudos das duas disciplinas, optou-se pela distribuição dos capítulos de determinado volume de uma coleção em função dos quatro bimestres letivos de cada ano do Ensino Médio. O binômio conteúdo-tempo, guardadas as aproximações e limitações, proporcionou uma visão panorâmica dos momentos do ano escolar em que os conceitos das duas disciplinas são apresentados aos alunos, permitindo, por meio da análise dos resultados, reflexões sobre a potencial complementaridade dos conjuntos de saberes escolares originários da Biologia e da Química.

3) Resultados da pesquisa

No levantamento bibliográfico, verificou-se que os livros didáticos de Biologia inseriram a temática a respeito da origem da vida em capítulos específicos de seus conteúdos programáticos: transcurso do primeiro volume (OB2, OB3 e OB1) e parte final do terceiro volume (OB4). A distribuição é a seguinte:

Obra	Localização no conteúdo programático
OB1	Volume 1, capítulo 17 (de um total de 23 capítulos).
OB2	Volume 1, capítulo 2 (de um total de 19 capítulos).
OB3	Volume 1, capítulo 7 (de um total de 21 capítulos).
OB4	Volume 3, capítulo 19 (de um total de 24 capítulos).

Tabela 03 – Localização da temática sobre a origem da vida nos conteúdos programáticos das obras analisadas de Biologia.

Os dados obtidos pela pesquisa encontram-se dispostos em dois blocos analíticos. O primeiro associa tópicos sobre a origem da vida presentes nos quatro livros de Biologia com saberes químicos relacionados a essa temática biológica; o segundo vincula o que a Biologia demanda de conceitos químicos com a localização destes no conteúdo programático dos dois livros didáticos de Química.

3.1) Demandas de conceitos da Química na abordagem temática sobre a origem da vida nos livros de Biologia

Ao abordarem a origem da vida, os livros didáticos de Biologia destacam tópicos cujas menções nas obras podem ser consideradas semelhantes entre si, propiciando tanto uma visão panorâmica da temática sobre a origem da vida, quanto uma investigação sobre demandas comuns de conceitos químicos inscritas nos textos constituintes dos quatro livros. Nestes, o enfoque dado à origem da vida pode ser basicamente estruturado a partir de especulações sobre as condições ambientais da Terra primitiva, as substâncias e os processos químicos que participaram do aparecimento dos primeiros organismos vivos e as proposições teóricas relacionadas historicamente ao contexto.

Seguem as descrições dos tópicos sobre a origem da vida presentes em cada um dos quatro livros de Biologia com a correspondente vinculação a uma ou mais categorias de saberes químicos:

3.1.1) Tabulação de OB1

Tópico cuja abordagem necessita de subsídio conceitual da Química	Categoria(s) de saberes químicos demandados
Diversas fórmulas de substâncias são mencionadas ao longo do capítulo, das supostas constituintes da atmosfera primitiva da Terra às participantes de processos bioquímicos fundamentais.	Simbologia química / Ligações químicas
São descritos, esquematizados e equacionados vários processos bioquímicos (fotossíntese, respiração, fermentação alcoólica, ligação peptídica), inclusive em seus aspectos de absorção ou liberação de energia.	Simbologia química / Reação química (aspectos qualitativos) / Reação química (aspectos quantitativos) / Química orgânica e bioquímica / Termoquímica
É destacada a interferência de catalisadores na efetivação de processos bioquímicos.	Cinética química
São discutidas a ação oxidante do oxigênio em substâncias orgânicas e como estas tiveram tempo para aumentar sua complexidade, já não existiria aquele gás na atmosfera primitiva da Terra.	Eletroquímica
É assinalada a importância do estudo dos fósseis na busca de evidências que situem no tempo o aparecimento de determinado ser vivo, recorrendo-se, por exemplo, a métodos consideravelmente precisos como a datação pelo carbono-14.	Estrutura atômica / Transformações nucleares

Tabela 04 – Tópicos sobre a origem da vida em OB1 cuja abordagem necessita dos saberes químicos discriminados.

3.1.2) Tabulação de OB2

Tópico cuja abordagem necessita de subsídio conceitual da Química	Categoria(s) de saberes químicos demandados
Diversas fórmulas de substâncias iônicas e moleculares são indicadas ao longo do capítulo, quer como supostos constituintes da atmosfera primitiva da Terra e integrantes do experimento de Miller-Urey, quer como participantes de processos bioquímicos fundamentais.	Simbologia química / Ligações químicas
São descritos, esquematizados e equacionados o ciclo do carbono e vários processos bioquímicos (equilíbrio dinâmico entre fotossíntese e respiração aeróbia, fermentação), inclusive em seus aspectos energéticos.	Simbologia química / Reação química (aspectos qualitativos) / Reação química (aspectos quantitativos) / Química orgânica e bioquímica / Termoquímica
É abordada a crescente participação do oxigênio em processos de oxidação de compostos inorgânicos e orgânicos ao longo da formação da Terra.	Eletroquímica

Tabela 05 – Tópicos sobre a origem da vida em OB2 cuja abordagem necessita dos saberes químicos discriminados (continua).

Tópico cuja abordagem necessita de subsídio conceitual da Química	Categoria(s) de saberes químicos demandados
São mencionados os eventos associados ao Big Bang que originaram os elementos químicos simples e o processo de fusão nuclear no sol.	Estrutura atômica / Transformações nucleares

Tabela 05 – Tópicos sobre a origem da vida em OB2 cuja abordagem necessita dos saberes químicos discriminados (conclusão).

3.1.3) Tabulação de OB3

Tópico cuja abordagem necessita de subsídio conceitual da Química	Categoria(s) de saberes químicos demandados
São representadas diversas fórmulas de substâncias moleculares integrantes da suposta atmosfera primitiva e/ou participantes de processos bioquímicos essenciais.	Simbologia química / Ligações químicas
São descritos vários processos bioquímicos (fotossíntese, fermentação e respiração aeróbia).	Simbologia química / Reação química (aspectos qualitativos) / Química orgânica e bioquímica
Os elementos constituintes da matéria viva são indicados.	Simbologia química / Estrutura atômica

Tabela 06 – Tópicos sobre a origem da vida em OB3 cuja abordagem necessita dos saberes químicos discriminados.

3.1.4) Tabulação de OB4

Tópico cuja abordagem necessita de subsídio conceitual da Química	Categoria(s) de saberes químicos demandados
Diversas fórmulas de substâncias moleculares (primordiais e/ou participantes de processos bioquímicos) são citadas ao longo do capítulo.	Simbologia química / Ligações químicas
São descritos os processos bioquímicos de fotossíntese e respiração celular, inclusive em seus aspectos energéticos, tais como a produção de ATP.	Simbologia química / Reação química (aspectos qualitativos) / Química orgânica e bioquímica / Termoquímica
É citada a ação catalítica de certas substâncias na efetivação de processos bioquímicos.	Cinética química
A ausência do oxigênio nos primórdios da Terra é mencionada como um dos fatores favoráveis à síntese espontânea de moléculas orgânicas, já que estas não eram degradadas por oxidação.	Eletroquímica

Tabela 07 – Tópicos sobre a origem da vida em OB4 cuja abordagem necessita dos saberes químicos discriminados.

Na página seguinte, uma tabela organiza resumidamente esses tópicos sobre a origem da vida e os localiza nas correspondentes coleções de Biologia, relacionando-os com as categorias de saberes químicos demandados, igualmente localizados nas respectivas coleções de Química:

Saberes químicos cotejados nos livros didáticos de Biologia	OB1	OB2	OB3	OB4
Localização da temática sobre a origem da vida nos livros didáticos de Biologia	V.1 - capítulo 17 (p.300).	V.1 - capítulo 2 (p.22).	V.1 - capítulo 7 (p.94).	V.3 - capítulo 19 (p.198).
Simbologia química (representação de elementos e substâncias)	Descrição da suposta atmosfera primitiva da Terra	Suposta atmosfera primitiva e o experimento de Miller-Urey	Descrição da suposta atmosfera primitiva da Terra	Substâncias primordiais disponíveis na Terra primitiva
Simbologia química (representação de reações químicas)	Fotossíntese, respiração, fermentação, ligação peptídica	Equilíbrio dinâmico entre fotossíntese e respiração aeróbia, etc.	Fotossíntese, fermentação, respiração aeróbia	Fotossíntese e respiração celular
Estrutura atômica	Menção aos processos de datação de fósseis por meio do carbono-14	Surgimento de elementos simples a partir do *Big Bang*	Descrição de elementos constituintes da matéria viva	Item não mencionado especificamente
Reação química (aspectos quantitativos)	Balanceamento de equações bioquímicas	Equacionamento de diversos processos bioquímicos	Item não mencionado especificamente	Item não mencionado especificamente
Ligações químicas	Menções às estruturas de substâncias moleculares	Estruturas de substâncias iônicas e moleculares	Menções às estruturas de substâncias moleculares	Menções às estruturas de substâncias moleculares
Termoquímica	Processos bioquímicos exotérmicos	Descrição de processos energéticos	Item não mencionado especificamente	Processos termoquímicos envolvendo ATP
Cinética química	Catálise ocorrida em reações bioquímicas primordiais	Item não mencionado especificamente	Item não mencionado especificamente	Ação catalítica de certas substâncias
Eletroquímica	Processos de oxidação de compostos orgânicos	Oxidação de compostos inorgânicos e orgânicos	Item não mencionado especificamente	Oxidação de substâncias pelo oxigênio
Transformações nucleares	Datação de fósseis por carbono-14	Descrição do processo de fusão nuclear que ocorre no sol	Item não mencionado especificamente	Item não mencionado especificamente
Química orgânica/ Bioquímica	Menções às estruturas de diversas macromoléculas	Menções às estruturas de diversas macromoléculas	Menções às estruturas de diversas macromoléculas	Menções às estruturas de diversas macromoléculas

Localização dos saberes químicos demandados por Biologia nos livros didáticos de Química	OQ1	OQ2
	V.1, cap.4, p.50.	V.1, cap.3, p.54.
	V.1, cap.3, p.38.	V.1, cap.3, p.62 / cap.10, p.238.
	V.1, cap.4, p.52 / cap.5, p.62.	V.1, cap.4, p.74.
	V.1, cap.3, p.46 / cap.4, p.56 / cap.13, p.242 / cap.15, p.304.	V.1, cap.3, p.50. / cap.10, p.240 / cap.11, p.262 / cap.14, p.336.
	V.1, cap.7, p.114.	V.1, cap.6, p.135.
	V.2, cap.6, p.146.	V.2, cap.3, p.94.
	V.2, cap.7, p.180.	V.2, cap.4, p.143.
	V.2, cap.3, p.60.	V.2, cap.8, p.281.
	V.2, cap.11, p.292.	V.2, cap.10, p.364.
	V.3, cap.1, p.2 / cap.10, p.190.	V.3, cap.1, p.1 / cap.14, p.319 / cap.15, p.337 / cap.16, p.359.

Tabela 08 – Quadro indicativo dos tópicos sobre a origem da vida que demandam os saberes químicos discriminados e localizados nas obras de Química.

3.2) Cotejo entre as demandas de conceitos químicos requeridos por Biologia e a localização de tais conceitos nos livros didáticos de Química

Concluída a etapa de identificação dos tópicos sobre a origem da vida comuns aos quatro livros de Biologia e o levantamento dos conceitos químicos demandados, efetuou-se a organização desses saberes nas dez categorias já expressas no quadro da página anterior:

Simbologia química (representação de elementos e substâncias);
Simbologia química (representação de reações químicas);
Estrutura atômica;
Reação química (aspectos quantitativos);
Ligações químicas;
Termoquímica;
Cinética química;
Eletroquímica;
Transformações nucleares;
Química orgânica e bioquímica.

Para efeitos comparativos, tanto os tópicos sobre a origem da vida presentes nas coleções de Biologia, quanto as categorias descritas de saberes inscritas nos conteúdos programáticos das obras de Química foram diagramados de acordo com o número de capítulos de cada volume e o período equivalente aos três anos do Ensino Médio. Nesta etapa da pesquisa, apesar de elaborados conforme as sequências de conteúdos constantes nos respectivos sumários das coleções, convém salientar que os diagramas estabelecem uma aproximação de tempo entre os conteúdos das obras, atendendo mais a uma necessidade comparativa do que a um rigor temporal.

As descrições e localizações das categorias de saberes químicos demandados por Biologia e os diagramas comparativos – agrupados posteriormente em um quadro geral – são apresentados a seguir:

3.2.1) Simbologia química (representação de elementos e substâncias)

Nessa primeira categoria das representações, adjetivadas aqui como introdutórias, figuram aquelas convencionadas para indicar os elementos químicos (símbolos) e as substâncias (fórmulas). Subsidiados pelo modelo atômico de Dalton, são apresentados os esboços conceituais de átomo, molécula, elemento químico, substância elementar (simples) e composta.

Essa categoria fica assim localizada nos dois livros de Química:

	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM
OB1			X									
OB2	X											
OB3		X										
OB4												X
OQ1		Q										
OQ2	Q											
	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM

Legenda: **X** = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo
EM = ano do Ensino Médio

Volume 1
Volume 2
Volume 3

Tabela 09 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Simbologia química – representação de elementos e substâncias” (coleções de Química).

Em termos de linearidade temporal, OB1 e OB4 introduzem a temática sobre a origem da vida após a apresentação dessa categoria de saberes químicos, ao passo que OB3 trata da origem da vida quase que de modo concomitante às representações simbólicas abarcadas pela disciplina de Química e OB2 aborda sua temática antes que esses mesmos saberes químicos sejam apresentados.

3.2.2) Simbologia química (representação de reações químicas)

Essa categoria faz referência à representação de reações químicas por meio de equações cuja estrutura simbólica compreende a divisão das substâncias participantes em reagentes e produtos, as setas indicativas do sentido majoritário de

reação, os agentes interferentes (calor, por exemplo) e as fases de agregação de cada uma das substâncias integrantes do processo.

Considerando que a abordagem temática é dividida em dois trechos descontínuos em OQ2, a categoria encontra-se distribuída nos livros de Química do seguinte modo:

	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM
OB1			X									
OB2	X											
OB3		X										
OB4												X
OQ1	Q											
OQ2	Q2a		Q2b									
	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM

Legenda: **X** = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo
EM = ano do Ensino Médio
Q2a = parte1: componentes simbólicos básicos de uma equação química
Q2b = parte2: outros símbolos empregados no equacionamento químico / equações iônicas

Volume 1
Volume 2
Volume 3

Tabela 10 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Simbologia química – representação de reações químicas” (coleções de Química).

OB2 apresenta a temática sobre a origem da vida em momento anterior às fundamentações de reação química oferecidas pelas duas obras de Química, o que não acontece com os demais livros de Biologia, que abordam a temática em etapa posterior à referida categoria de saberes químicos. Entretanto, OQ2 retoma em capítulo posterior o conceito qualitativo de reação química, período em que a origem da vida já foi apresentada por OB2 e OB3, sendo quase concomitante à abordagem de OB1 e bem distante ainda da apresentação da origem da vida feita por OB4.

3.2.3) Estrutura atômica

O escopo dessa categoria é a análise de modelos atômicos que considerem as características de partículas constituintes do átomo, notadamente centradas no estudo das propriedades de prótons, nêutrons e elétrons. São apresentados nessa

categoria os conceitos de número atômico, número de massa, íon, átomo eletricamente neutro, bem como os fundamentos da configuração eletrônica de átomos e íons de acordo com níveis e subníveis energéticos.

Nos livros didáticos de Química, assim é posicionada essa categoria em relação ao conteúdo programático das duas obras:

	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM
OB1			X									
OB2	X											
OB3		X										
OB4												X
OQ1		Q										
OQ2		Q										
	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM

Legenda: **X** = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo
EM = ano do Ensino Médio

Volume 1
Volume 2
Volume 3

Tabela 11 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Estrutura atômica” (coleções de Química).

Constata-se que OB2 introduz a temática sobre a origem da vida antes da apresentação dessa categoria de saberes em Química, OB3 trata da temática biológica quase que de modo concomitante e OB1 e OB4 discutem a origem da vida após as aulas de Química terem apresentado estrutura atômica.

3.2.4) Reação química (aspectos quantitativos)

Figuram nessa categoria os fundamentos estequiométricos de uma reação química com base nas Leis da Conservação da Massa e das Proporções Constantes. A posterior aplicação conceitual de mol vem estabelecer uma relação dos valores de massas atômica e molecular com os valores de massa molar, permitindo um intercâmbio matemático entre a unidade de massa atômica e o grama.

Essa categoria está concentrada em trechos descontínuos nas obras de Química, dois em OQ1 e três em OQ2:

	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM
OB1			X									
OB2	X											
OB3		X										
OB4												X
OQ1	Q1a			Q1b								
OQ2	Q2a		Q2b	Q2c								
	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM

Legenda: **X** = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo
EM = ano do Ensino Médio
Volume 1
Volume 2
Volume 3
Q1a = parte1: leis ponderais / balanceamento de equações químicas
Q1b = parte2: massas atômica e molecular / mol e massa molar / cálculo estequiométrico
Q2a = parte1: leis ponderais
Q2b = parte2: balanceamento de equações
Q2c = parte3: massas atômica e molecular / mol e massa molar / cálculo estequiométrico

Tabela 12 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Reação química – aspectos quantitativos” (coleções de Química).

OB4 introduz a temática sobre a origem da vida quase no final do curso, muito tempo depois de apresentados os aspectos quantitativos das reações químicas pelos dois livros de Química. Entretanto, para as demais obras de Biologia há situações específicas: OB1 e OB3 apresentam a temática biológica entre as inscrições dos conceitos iniciais e aprofundados do estudo quantitativo das reações químicas; já OB2, por introduzir a origem da vida nos primeiros momentos do curso de Biologia, aproxima-se temporalmente apenas dos conceitos iniciais da categoria mencionada de saberes químicos.

3.2.5) Ligações químicas

Essa categoria abrange os modelos conceituais que pretendem explicar as diferentes formas de associações entre átomos responsáveis pela constituição da

vasta gama de substâncias químicas existentes no universo. A partir dos fundamentos da distribuição eletrônica, são apresentadas as características das ligações iônicas, covalentes e metálicas e a relação dessas ligações com as propriedades das substâncias.

No conteúdo programático dos dois livros de Química, essa categoria é situada desse modo:

	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM
OB1			X									
OB2	X											
OB3		X										
OB4												X
OQ1		Q										
OQ2		Q										
	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM

Legenda: **X** = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo
EM = ano do Ensino Médio

Volume 1
Volume 2
Volume 3

Tabela 13 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Ligações químicas” (coleções de Química).

OB2 e OB3 introduzem a temática sobre origem da vida em momento anterior aos fundamentos de ligação química contidos nas duas obras de Química, ao passo que OB4 e OB1 o fazem posteriormente. As maiores proximidades em termos temporais encontram-se em OB3 – que aborda a origem da vida pouco tempo antes – e em OB1, que aborda a temática biológica pouco tempo após a apresentação de ligações químicas pelas duas obras de Química.

3.2.6) Termoquímica

Está presente nessa categoria o estudo do calor envolvido em processos químicos, seja como reagente, seja como produto. A partir das análises experimental, conceitual e matemática de estruturas de reações exotérmicas e

endotérmicas, elabora-se um modelo de fluxo e de balanço energético, cujos fundamentos recaem sobre a definição de entalpia e de sua variação.

Essa categoria encontra-se distribuída nos livros de Química da seguinte forma:

	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM
OB1			X									
OB2	X											
OB3		X										
OB4												X
OQ1						Q						
OQ2						Q						
	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM

Legenda: **X** = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo
EM = ano do Ensino Médio

Volume 1
Volume 2
Volume 3

Tabela 14 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Termoquímica” (coleções de Química).

Em termos de sequência de saberes de Biologia e Química, constata-se que apenas OB4 apresenta o estudo sobre a origem da vida após a apresentação dos saberes relacionados à termoquímica por OQ1 e OQ2, comumente posicionados na parte central do conteúdo programático de Química – segundo ano do Ensino Médio –, dedicado à físico-química.

3.2.7) Cinética química

Constam nessa categoria o conceito de rapidez de uma transformação química e o reconhecimento de fatores que interferem nessa rapidez, tais como a concentração dos reagentes, temperatura, superfície de contato e o emprego de catalisadores, cujos fundamentos operacionais repousam sobre o modelo de colisão e o modelo cinético-molecular. A expressão matemática da lei de velocidade de uma

reação, outro foco do estudo cinético, encontra subsídios provenientes de dados experimentais organizados principalmente sob a forma de tabelas e gráficos.

No conteúdo programático dos dois livros de Química, o estudo cinético é assim posicionado:

	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM
OB1			X									
OB2	X											
OB3		X										
OB4												X
OQ1							Q					
OQ2						Q						
	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM

Legenda: **X** = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo
EM = ano do Ensino Médio

Volume 1
Volume 2
Volume 3

Tabela 15 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Cinética química” (coleções de Química).

De modo semelhante à categoria anterior, o estudo da cinética química posiciona-se na parte central do conteúdo programático de Química – segundo ano do Ensino Médio –, dedicado a extensos tópicos de físico-química.

Em termos sequenciais, verifica-se que apenas OB4 apresenta a origem da vida após a inscrição dos saberes ligados à cinética química em OQ1 e OQ2.

3.2.8) Eletroquímica

A categoria de eletroquímica compreende o estudo experimental, conceitual e matemático das reações de transferência de elétrons em seus aspectos centrais: processos de oxidação e de redução, cujos produtos são a energia elétrica – no caso das pilhas – e substâncias elementares, obtidas por meio dos procedimentos de eletrólise.

Nos dois livros de Química, assim é posicionada a categoria de eletroquímica em relação ao conteúdo programático:

	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM
OB1			X									
OB2	X											
OB3		X										
OB4												X
OQ1					Q							
OQ2								Q				
	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM

Legenda: **X** = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo
EM = ano do Ensino Médio

Volume 1
Volume 2
Volume 3

Tabela 16 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Eletroquímica” (coleções de Química).

Constata-se que apenas OB4 apresenta o estudo sobre a origem da vida após a apresentação dos saberes relacionados à eletroquímica, que se localizam na parte central do conteúdo programático de Química – segundo ano do Ensino Médio – dedicado à físico-química, assim como cinética e termoquímica.

3.2.9) Transformações nucleares

Essa categoria abrange os fenômenos ocorridos no núcleo atômico, fundamentados pelo estudo dos processos altamente energéticos de desintegração radioativa, fissão e fusão nucleares. Decorrem desses conceitos a análise cinética do decaimento radioativo (meia-vida) e o equacionamento de reações nucleares que envolvem partículas radioativas tais como alfa, beta, pósitrons, entre outras.

Em relação ao conteúdo programático de Química, as transformações nucleares encontram-se inscritas em OQ1 e OQ2 nos seguintes momentos:

	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM
OB1			X									
OB2	X											
OB3		X										
OB4												X
OQ1								Q				
OQ2								Q				
	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM

Legenda: **X** = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo
EM = ano do Ensino Médio

Volume 1
Volume 2
Volume 3

Tabela 17 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Transformações nucleares” (coleções de Química).

Apenas OB4 insere o estudo sobre a origem da vida após a apresentação dos saberes relacionados às transformações nucleares, categoria de saberes químicos localizados nas partes finais do volume reservado à físico-química.

3.2.10) Química orgânica e bioquímica

Constam, nessa ampla categoria, os saberes relacionados às estruturas, propriedades e usos dos compostos de carbono, cujo estudo compreende a base da Química Orgânica e de seu relevante desdobramento: a bioquímica. O conjunto conceitual orgânico abarca uma grande diversidade de saberes, que vão do reconhecimento das estruturas funcionais dos diversos compostos orgânicos à atuação decisiva de biomoléculas em reações químicas essenciais à instalação e manutenção da vida neste planeta.

No conteúdo programático dos dois livros de Química, os aspectos centrais demandados pela temática biológica está concentrados em trechos descontínuos das obras químicas:

	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM
OB1			X									
OB2	X											
OB3		X										
OB4												X
OQ1									Q1a			Q1b
OQ2									Q2a			Q2b
	1bim1EM	2bim1EM	3bim1EM	4bim1EM	1bim2EM	2bim2EM	3bim2EM	4bim2EM	1bim3EM	2bim3EM	3bim3EM	4bim3EM

Legenda: **X** = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo
EM = ano do Ensino Médio
Q1a e Q1b = parte1: fundamentos da química orgânica
Q2a e Q2b = parte2: compostos orgânicos de alta relevância bioquímica

Volume 1
Volume 2
Volume 3

Tabela 18 – Relação temporal entre a temática sobre a origem da vida (coleções de Biologia) e a categoria “Química orgânica e bioquímica” (coleções de Química).

OB1, OB2 e OB3 apresentam a temática sobre a origem da vida bem antes que os dois livros de Química inscrevam os saberes relativos à química orgânica. Por sua vez, OB4 introduz a temática biológica após a apresentação dos fundamentos de química orgânica, mas quase ao mesmo tempo em que OQ1 e OQ2 fornecem subsídios bioquímicos mais aprofundados.

3.2.11) Quadro geral

O quadro da página seguinte (tabela 19) reúne os dados contidos nas dez tabelas anteriores, relacionando o posicionamento da temática sobre a origem da vida nos livros de Biologia com a localização dos saberes químicos nos livros de Química, considerando-se o transcurso dos três anos letivos no Ensino Médio em suas divisões bimestrais:

		1bim	2bim	3bim	4bim	1bim	2bim	3bim	4bim	1bim	2bim	3bim	4bim
Temática sobre a origem da vida	OB1			X									
	OB2	X											
	OB3		X										
	OB4												X
Simbologia química (representação de elementos e substâncias)	OQ1		Q										
	OQ2	Q											
Simbologia química (representação de reações químicas)	OQ1	Q											
	OQ2	Q2a		Q2b									
Estrutura atômica	OQ1		Q										
	OQ2		Q										
Reação química (aspectos quantitativos)	OQ1	Q1a			Q1b								
	OQ2	Q2a		Q2b	Q2c								
Ligações químicas	OQ1		Q										
	OQ2		Q										
Termoquímica	OQ1						Q						
	OQ2						Q						
Cinética química	OQ1							Q					
	OQ2						Q						
Eletroquímica	OQ1					Q							
	OQ2								Q				
Transformações nucleares	OQ1								Q				
	OQ2								Q				
Química orgânica e bioquímica	OQ1									Q1a			Q1b
	OQ2									Q2a			Q2b

Legenda:

X = localização da temática sobre a origem da vida
Q = localização do saber químico demandado
bim = bimestre letivo

□ Volume 1 (1º ano do Ensino Médio)
■ Volume 2 (2º ano do Ensino Médio)
■ Volume 3 (3º ano do Ensino Médio)

Q1a e Q1b = localização da correspondente categoria de saberes em OQ1 (partes descontínuas)
Q2a, Q2b e Q2c = localização da correspondente categoria de saberes em OQ2 (partes descontínuas)

Tabela 19 – Quadro geral das associações entre a temática sobre a origem da vida abordada nas quatro obras de Biologia e as categorias químicas dispostas nos conteúdos programáticos das duas obras de Química.

3.3) Síntese dos resultados

No tocante à temática sobre a origem da vida e desconsiderando supressões ou alterações nos conteúdos programáticos das coleções de Biologia e Química, a análise bibliográfica apontou que três das quatro obras de Biologia estão em descompasso temporal com os saberes químicos sequenciados pelas duas obras de Química e demandados pela disciplina biológica. Por disponibilizar o estudo sobre a origem da vida para o final do terceiro ano do Ensino Médio, apenas OB4 consegue introduzir esse assunto quando quase a totalidade dos saberes químicos demandados já foi apresentada na disciplina de Química; por outro lado, OB1, OB3 e, sobretudo, OB2 (segundo capítulo) tratam da temática biológica ainda no primeiro ano, antes de a maioria dos saberes químicos em questão ser disponibilizada aos alunos.

Os conceitos vinculados às representações simbólicas da Química, atomística, ligação e reação química encontram-se concentrados no primeiro ano do Ensino Médio, o mesmo período em que OB1, OB2 e OB3 apresentam a origem da vida em tópicos cuja fundamentação química lhes seria muito benéfica: as especulações sobre as estruturas constitutivas das substâncias existentes na Terra primitiva e participantes de processos químicos essenciais à instalação da vida no planeta. A inadequação temporal verificada várias vezes entre os conteúdos das coleções de Química e a temática sobre a origem da vida em OB1, OB2 e OB3, ao comprometer interações conceituais proveitosas entre as duas disciplinas, esvazia o alcance e a relevância cognitiva dos conceitos químicos e biológicos estudados separadamente.

No segundo ano, os conceitos referentes à físico-química – termoquímica, cinética e eletroquímica – fundamentam diversos processos bioquímicos nos aspectos energético, cinético e eletrônico; além de explicar o surgimento e transmutação dos átomos primordiais formadores das futuras substâncias espalhadas pelo universo, o estudo dos fenômenos nucleares elucida técnicas de datação de fósseis mais precisas, tais como as que utilizam o carbono-14. Todos esses conceitos químicos aparecem posteriormente às discussões sobre a origem da vida contidas em OB1, OB2 e OB3.

Finalmente, os conceitos de química orgânica e introdutórios da bioquímica – apresentados no terceiro ano do Ensino Médio – explicam as estruturas,

propriedades e interações químicas de diversas substâncias orgânicas cujas menções nos textos das quatro obras de Biologia são recorrentes. Apenas OB4 introduz a temática sobre a origem da vida após a exposição desses saberes, antecipando-se apenas à introdução das estruturas de macromoléculas fundamentais ao estudo biológico: lipídios, aminoácidos, glicídios, entre outros.

Em resumo, fica bastante perceptível a disparidade temporal entre as temáticas sobre a origem da vida em OB1, OB2 e OB3 e os saberes demandados por Biologia e introduzidos por Química em OQ1 e OQ2. Apenas OB4 inscreve a temática biológica no final do terceiro ano do Ensino Médio, quando quase todos os saberes químicos já teriam sido apresentados aos alunos. Levando-se em conta a necessidade prévia de determinado aporte químico, parece plausível considerar que a inscrição do estudo sobre a origem da vida em etapas iniciais do curso de Biologia mostra-se contraproducente sob o ponto de vista de articulação conceitual entre essas duas disciplinas.

4) Argumentos em favor de um diálogo entre Biologia e Química

Ao refletir sobre um diálogo entre disciplinas da mesma área do conhecimento escolar, esta pesquisa argumenta em favor de uma leitura mais abrangente da realidade, que é sempre multifacetada. No âmbito da escola, se, por um lado, não é sempre viável apresentar um determinado tema sob múltiplos vieses, por outro, não é impossível oferecer caminhos para que esses canais de comunicação se abram minimamente. No entanto, também é preciso considerar que prática científica, disciplina acadêmica e disciplina escolar são instâncias que, apesar de empregarem o discurso da ciência, o fazem de modos e com objetivos diversos.

A pesquisa desta dissertação utiliza as críticas de Antoni Zabala e Edgar Morin direcionadas ao aspecto pouco integrador dos currículos escolares; apresenta as reflexões de Claus Emmeche e Charbel Niño El-Hani sobre a busca de uma definição ampla de “vida” que reúna fundamentos paradigmáticos da biologia teórica; e menciona princípios da *aprendizagem significativa* ausubeliana que orientem desdobramentos didáticos produtivos.

Reconhecendo as particularidades do ensino de Ciências e o caráter notadamente disciplinar do currículo, mas considerando a natureza complexa da realidade, seguem as construções teóricas e argumentos que alicerçam a idealização e o transcurso desta pesquisa, motivada desde o início pela percepção de que o ensino de Ciências pode e deve sair de um casulo que separa alunos e professores dos frutos de uma experiência de ensino-aprendizagem menos restritiva.

4.1) Finalidades e especificidades do ensino de Ciências da Natureza

Representa uma discussão oportuna – não só para a escola, mas para uma moderna sociedade ávida por consumo e tecnologia – refletir sobre o real papel da ciência na vida das pessoas, neste grupo incluídas aquelas que compartilham o cotidiano escolar da Educação Básica: alunos, pais e educadores. Afinal, qual a

validade social de se debruçar sobre os dissabores da educação científica nas escolas? Por que é relevante discutir sobre ciência, uma atividade que, apesar de ser inerente da espécie humana, é praticada cotidianamente por tão poucos?

Naturalmente, não há unanimidade nas respostas para tais questionamentos. Entretanto, para Dillon e Osborne (2008), a educação científica se justifica apenas se oferecer algo de valor universal para todos e não benefícios a uma minoria que formará os futuros cientistas. Os princípios norteadores dessa educação científica devem ser o desenvolvimento de competências-chave para os novos cidadãos e uma compreensão sobre o que a ciência pode proporcionar às pessoas para estas se tornarem consumidoras críticas do conhecimento científico.

Além da meta de oferecer o conhecimento próprio da ciência e da tecnologia à maioria dos indivíduos escolarizados, o trabalho dos professores precisa ser encaminhado para sua apropriação crítica pelos estudantes, fazendo parte do universo das representações sociais e se estabelecendo como cultura. Opondo-se à *ciência morta*, a ação do professor precisa elaborar a compreensão de que o processo gerador do conhecimento científico e tecnológico é uma atividade humana, determinada sócio-historicamente e suscetível a pressões internas e externas, com mecanismos pouco disponíveis à maioria dos indivíduos escolarizados. Tais mecanismos necessitam de apropriação e entendimento, ou tenderão a produzir visões acríticas ou ingênuas sobre o conhecimento tecnocientífico (ANGOTTI; DELIZOICOV; PERNAMBUCO, 2009, p.34).

Se por um lado, é inegável que o ensino de Ciências tem potencial para colaborar na constituição de um aluno-cidadão entendedor de diversos processos contemporâneos tecnológico-científicos, por outro, consiste em um “mito”, segundo alguns, pensar que o ensino científico instale ou fomente por si só o dito “pensamento crítico” no aluno. Conforme Palma (2009, p.94-95), não existe ensino mais dogmático, conservador e avesso à alteração de paradigmas, que o da ciência. Esta favorece um estudante melhor cidadão à medida que permite ao indivíduo acessar um conteúdo de informações logicamente articuladas, relevantes na manipulação de uma série de questões, que vão de uma alimentação saudável em uma casa à sustentabilidade ambiental de um planeta inteiro. Tornar o aluno mais informado não o torna, necessariamente, mais crítico perante o mundo e seus dilemas. Entretanto, se a ciência conseguir que os alunos lidem, com certa

desenvoltura, com as regras e os princípios mais fundamentais da lógica e leiam textos eficientemente já será, conforme atesta Palma, uma “tremenda vitória”.

Dada a relevância da ciência na modelagem do pensamento ocidental moderno, é de se supor que a inscrição do pensamento científico na esfera educacional desperte relevante interesse aos pesquisadores das mais variadas áreas do conhecimento. Os procedimentos engendrados para sistematizar o ensino científico nas escolas carregam intrinsecamente a visão epistemológica de ciência dos seus propositores, sejam teóricos da educação, sejam desenvolvedores de matrizes curriculares de uma determinada localidade. Considerando a multiplicidade de visões sobre a natureza e o propósito da ciência, é absolutamente plausível supor a vastidão de concepções pedagógicas associadas à implementação da educação científica no ambiente escolar. E daí, há que se levar em conta que os resultados educativos dessa introdução temática tão multifacetada sejam igualmente diversificados, transitando do produtivo ao decepcionante.

Ademais, outra consideração importante é observar que ciência e educação científica não significam o mesmo procedimento, já que os focos e os mecanismos das duas apresentam motivações e dinâmicas sensivelmente distintas. Ignorar ou minimizar tal distinção é caminho certo e perigoso para a construção de um currículo equivocado, pouco útil às necessidades educacionais dos jovens estudantes. Segundo Zabala (2002, p.16), predomina a tendência de estrutura curricular que incorpora a lógica formal das disciplinas acadêmicas às disciplinas escolares sem uma análise criteriosa da conveniência de transportá-la para o contexto educativo, tornando a educação básica, na maioria dos países, um instrumento de condução das pessoas “mais capacitadas” à universidade (p.19).

Reiterando visões atuais de diferentes linhas de pensamento psicológico e pedagógico, Zabala ressalta a importância de se construírem formas de organizar os conteúdos de aprendizagem em que os critérios disciplinares, apesar de preservarem seu status de fundamentais, deixam de ser prioritários. E assim, pondera:

> Conceitos como os de significatividade e funcionalidade da aprendizagem, o sentido que esta deve ter para o estudante, a necessidade de desvelar a atitude favorável e a motivação da aprendizagem, a importância no número e na qualidade das relações existentes nas estruturas de conhecimentos, entre outros, permite-nos assegurar que a organização dos conteúdos deve corresponder a alguns critérios muito mais amplos e complexos do que aqueles determinados pela lógica das disciplinas acadêmicas. (p.23)

Zabala argumenta em favor de uma atuação pedagógica que apresente

> um *enfoque globalizador*, em que os conteúdos de aprendizagem sempre são os meios para conhecer ou responder a questões que uma realidade experiencial dos alunos proporciona: realidade que sempre é global e complexa. (p.28)

O *enfoque globalizador*, segundo esse educador, deve orientar processos de ensino que favoreçam ao máximo a instalação do maior número possível de relações entre os variados conteúdos aprendidos (p.35), sendo válidas as disciplinas escolares apenas se, individuais ou inter-relacionadas, propuserem respostas aos problemas sempre complexos colocados pela intervenção na sociedade (p.36).

Edgar Morin tece críticas ao princípio redutor ou simplificador de uma ciência clássica de orientação positivista. Reconhece que esta foi importante no encaminhamento das mais diversas descobertas e invenções ao longo dos séculos, mas a considera presa dessas mesmas conquistas. A busca por leis simples e gerais revelou, antagonicamente, um universo muito mais complexo que o previsto ou idealizado. Portanto, exige-se um princípio de explicação mais elaborado, denominado *princípio da complexidade*, assim defendido por Morin:

> É certo que ele [o princípio da complexidade] se baseia na necessidade de distinguir e de analisar, como o precedente [princípio de simplificação da ciência clássica fundamentado na separação/redução do conhecimento científico com o propósito de articular tal conhecimento em termos de leis simples e estruturas elementares], mas, além disso, procura estabelecer a comunicação entre aquilo que é distinguido: o objeto e o ambiente, a coisa observada e o seu observador. Esforça-se não por sacrificar o todo à parte, a parte ao todo, mas por conceber a difícil problemática da organização [...] (2008, p.30)

A crítica do pensador francês à ciência positivista paira essencialmente sobre essa busca determinista que persegue as leis gerais da natureza que não contemplam o incerto ou o contraditório. Sendo um dos propositores da mudança de tal paradigma, Morin levou em consideração o papel desempenhado pelo observador na constituição do real em processos vinculados à experiência do sujeito e a interação deste com seu meio.

Adicionalmente, cabe a análise moriniana sobre o modelo do currículo escolar, baseada em três pontos essenciais: o currículo não favorece uma visão ampla do curso e do conhecimento uno, nem fomenta comunicações entre os saberes; as partes devem se relacionar (para integralizarem o todo) por meio da

complexidade, esta explicada pela existência de múltiplos fatores que influenciam o processo de pensar; há que se romper com o pensamento linear e reducionista instalado no paradigma da *simplicidade*.

Conforme Zabala (p.24), a fragmentação da atividade intelectual e cultural em uma massa de disciplinas e subdisciplinas levou a uma dispersão do conhecimento que origina atualmente um processo relativamente espontâneo de cooperação interdisciplinar impelida por necessidades de ordem científica ou intelectual. Dessa constatação, justificam-se os apelos de educadores para a constituição de um currículo que, se não consegue integrar as diversas disciplinas oferecidas pela escola, ao menos não as isole completamente em compartimentos estanques, incomunicáveis.

Nesse sentido, as pesquisas em currículo destacam como tópico essencial as análises sobre a organização do conhecimento escolar, cujo encaminhamento para o universo educacional, segundo esses estudos, assume perspectivas distintas: para uns, a escola deve simplificar esse conhecimento para o ensino; para outros, ela deve incluí-lo em um processo mais abrangente de reconstrução e produção de saberes escolares. Como ponto convergente, tais pesquisas identificam que a organização em disciplinas tem se mantido hegemônica na história do currículo, apesar de serem registradas diversas tentativas de se construir um currículo não disciplinar (LOPES; MACEDO, 2002, p.73). Por isso, faz sentido deduzir que muitas das críticas ao ensino – incapacidade de integrar saberes, de articular uma compreensão global dos conhecimentos ou de propiciar maior aproximação com os saberes cotidianos dos estudantes – sejam dirigidas ao currículo disciplinar. Entretanto, segundo Elizabeth Macedo e Alice Lopes, a disposição dos currículos em uma matriz disciplinar não impossibilita a elaboração de mecanismos integradores, tais como a criação de disciplinas integradas ou articulação de disciplinas isoladas. Um exemplo dessas tentativas de integração por via disciplinar é a constituição da disciplina de Ciências, ministrada nos anos intermediários da Educação Básica, ou seja, no ciclo II do Ensino Fundamental (p.74). Por outro lado, é plenamente compreensível questionar se a instalação pura e simples de uma disciplina com intuito integrador seja suficiente para minimizar a compartimentação dos saberes ou para permitir uma aproximação maior com a vida cotidiana do estudante. Ademais, Macedo e Lopes (p.93) observam que a implantação da disciplina de Ciências não derivou para a formação de um campo do conhecimento

estabelecido socialmente, inexistindo virtualmente um corpo docente específico capaz de promover uma integração consistente com as ciências de referência (biologia, química e física); o que se verifica costumeiramente é o ensino de Ciências baseado (e não integrado) nessas matrizes científicas.

4.2) Conceito de vida

A palavra vida assume dimensões distintas quando se contemplam seus aspectos religioso, filosófico e científico. Teorizar sobre o aparecimento dos organismos vivos pioneiros no planeta é transitar por um terreno heterogêneo, repleto de debates conceituais e antagonismos na comunidade científica ao longo dos tempos. Inúmeras questões fundamentais da humanidade tiveram inúmeras respostas e indagações da ciência ao longo do tempo. A origem da vida e, adicionalmente, o que vem a ser vida representam, sem embargo, fontes permanentes de notáveis questionamentos que expõem continuamente crenças, teorias e modelos ao conflito e mobilizam o debate para diversos caminhos especulativos.

A opção em expor aspectos relacionados à vida e sua origem nos primeiros estágios do estudo em Biologia oferece o inconveniente de ter um estudante ainda com um acervo conceitual muito limitado sobre tal temática; fatalmente, parecerá mais apropriado e simples entender a vida não como algo a ser definido mediante o acesso a diversos paradigmas, mas sim como a checagem de uma série de propriedades previamente elencadas para o aluno. Por conta dessa percepção, a aparente trivialidade e simplicidade do assunto dispensam a contribuição de outras facetas do conhecimento, o que permite um estudo supostamente independente, descolado de saberes tidos como periféricos ou complicadores. Nesse contexto, a ideia de “vida” está atrelada a um suporte frágil de conceitos, sendo, portanto, destituída de um significado mais amplo e consistente.

Partindo dessa constatação, El-Hani (2008) afirma que o conceito é abordado de modo insuficiente e inadequado pelos livros didáticos de Ciências e Biologia, do Ensino Fundamental ao superior (p.147). A inadequação parte, sobretudo, dessa ideia de se definir vida empregando listagens de propriedades típicas de um ser

vivo. El-Hani salienta que a construção de um conceito explicativo de vida se dá de uma forma mais integrada e efetiva à medida que se privilegiam vieses de teorias biológicas diversas e não uma teoria particular. Nessa gama de proposições, cada qual forneceria subsídios complementares ao esforço conjunto de explicar, mais do que definir, o que pode ser entendido como vida (p.148).

Emmeche e El-Hani (2000, p.32-33) argumentam que a pouca importância dada a uma definição teórica de "vida" é explicada pela vigência de uma forte tendência experimentalista da Biologia nas décadas mais recentes, o que, segundo esses autores, não contribui para a afirmação da Biologia como autônoma em relação à Química e Física, pois dá a entender que a ciência biológica é incapaz de caracterizar alguns dos sistemas que são seus objetos de estudo. Além disso, é influente a posição essencialista dos biólogos céticos – reforçada por livros-texto e dicionários da área – de estarem fadadas ao fracasso todas as tentativas de se definir "vida", optando-se, em lugar disso, pela inclusão de listagens de propriedades suficientes e necessárias (mas não consensuais) para a caracterização da vida, tais como a teleonomia, conversão de energia em trabalho, multiplicação, nutrição, metabolismo, etc (p.33). Tais listagens constituem-se como o principal subsídio para se caracterizar um organismo vivo – não a vida – e, adicionalmente, para se diferenciar um ser vivente de um material inanimado ou estudar "formas limítrofes" de vida, como os vírus.

A seguinte tabela sintetiza os principais aspectos da opção majoritária de livros didáticos em expor propriedades típicas dos seres vivos ao invés de buscar definições de "vida" a partir de paradigmas da biologia teórica:

Obra	**Descrição**
OB1	No volume 1, há uma listagem de características próprias dos seres vivos, a saber: têm organização celular (p.13); se desenvolvem e crescem (p.15); têm metabolismo (p.16); respondem a estímulos (p.17); reproduzem-se (p.18); evoluem (p.20). Há um quadro-resumo: a caracterização da vida (p.21). A partir das características dos seres vivos, são descritos os processos realizados pelo vírus, "limite entre o vivo e o não vivo" (p.22).
OB2	No volume 1, a fim de responder "o que é vida?" (p.2), os autores enumeram características próprias dos organismos vivos: composição química (p.3); organização da matéria viva; metabolismo (p.4); reação e movimento; crescimento e reprodução (p.5); hereditariedade (p.6); variabilidade genética; seleção natural e adaptação (p.6). A obra expõe uma definição de vida – "sistemas químicos altamente organizados" –, organizada a partir de uma série de referências, tais como as de Ernst Mayr (p.7).

Tabela 20 – Características dos seres vivos conforme os textos das obras de Biologia analisadas (continua).

Obra	Descrição
OB3	No volume 1, o autor descreve assim as estruturas vivas: “ Os seres vivos são dotados de uma notável elasticidade funcional, que confere a eles a propriedade de transformar e utilizar a matéria e a energia disponíveis, capacitando-os para crescer, desenvolver-se, renovar-se e reproduzir-se no ambiente em que vivem” (p.25).
OB4	No volume 1, no capítulo intitulado “Que significa ser vivo?”, o autor enumera as seguintes características vitais: composição; organização (p.60); metabolismo; excitabilidade (p.61); reprodução (p.62); crescimento; hereditariedade; evolução (p.63); relações com o ambiente; diversidade (p.64). De acordo com o texto, vírus, viroides e príons têm certos atributos da vida, mas não outros (p.65).

Tabela 20 – Características dos seres vivos conforme os textos das obras de Biologia analisadas (conclusão).

Retornando à crítica de Emmeche e El-Hani, refletir ou não acerca de uma definição articulada não se trata de uma questão trivial ou inútil. Pois, ao se sugerir um determinado conjunto de propriedades que distinguem os organismos vivos dos não vivos, deixa-se essa definição refém dos critérios selecionados por cada pesquisador. Logo, as listas poderão ser tão variadas e discordantes quantas forem as pessoas envolvidas nesse contexto de pesquisa.

Segundo os autores:

> Quando a biologia se constitui como ciência, é necessário definir a vida como um fenômeno coerente, que requer uma nova forma de conhecimento, e esse problema de definição não pode ser resolvido pelos mesmos procedimentos de classificação da história natural [no século XVIII, dedicada essencialmente aos desafios de classificar plantas e animais]. É preciso recorrer à outra maneira de entender as definições. (p.35)

À luz de alguns paradigmas disponíveis na biologia teórica, Emmeche e El-Hani recomendam um olhar diferente sobre a questão de definir o termo “vida”, obviamente considerando, mas não priorizando, propriedades típicas dos seres vivos. Os dois autores optam por associar os diversos atributos constatados em organismos com “vida” a um ou mais paradigmas específicos, suficientemente rigorosos para satisfazerem as exigências de uma definição. Essas exigências são: (a) universalidade: de modo a contemplar todas as formas possíveis de vida deste ou de qualquer outro local do universo; (b) coerência com o conhecimento científico: ou seja, deve ser coerente com o conhecimento científico atual no tocante aos sistemas vivos; (c) elegância conceitual e capacidade de organização cognitiva: uma definição deve ser capaz de articular uma grande parte do conhecimento biológico – acessado pela ciência e pelas pessoas – em uma estrutura clara; (d) especificidade: essa definição, apesar de considerar qualquer sistema vivo, deve ser

suficientemente específica para diferenciar as estruturas vivas das não vivas (p.41-42).

Emmeche (1997-1998) dá o nome de *ontodefinição* à definição que pretende lidar com tipos muito gerais de objetos, sobre os quais imperam contextos paradigmáticos distintos, mas interdependendentes, tais como a matéria, a consciência e a própria vida. Se uma noção desta última puder subsidiar-se em um ou mais paradigmas da biologia moderna, existirá, então, uma definição (*ontodefinição*) apropriada às exigências descritas anteriormente.

Assim pode ser entendido o papel agregador de uma *ontodefinição* como a de "vida", por exemplo:

> É exigido dos conceitos específicos de uma área do conhecimento um grau de precisão que as ontodefinições não podem ter, na medida em que precisam ser consistentes com uma enorme quantidade de fenômenos diferentes. Por outro lado, as ontodefinições têm um papel integrativo nos paradigmas científicos que não pode, em geral, ser requerido de noções mais específicas. (EMMECHE; EL-HANI, 2000, p.42-43)

Recorrendo a três paradigmas teóricos da biologia moderna, Emmeche e El-Hani apresentam possibilidades de definir "vida" como sendo a seleção natural de replicadores, autopoiese ou um fenômeno semiótico. Cada uma dessas referências paradigmáticas fornece um arcabouço teórico para a construção de uma *ontodefinição*, algo que, em termos de aprendizagem, é muito mais integrador do que uma simples sucessão de propriedades carentes de base conceitual.

De acordo com o primeiro paradigma citado, a vida pode ser caracterizada, sob uma visão neodarwinista: (a) como a evolução ocorrida por seleção natural de replicadores – entidades que mantêm diretamente sua estrutura por meio de replicação – cada vez mais eficientes em preservar sua estrutura ao longo do tempo; (b) ou, mais ainda, pela atuação de entidades – entre as quais os replicadores – que interagem com o ambiente (interagentes) e, bem sucedidas frente às circunstâncias desse ambiente, dão chances para que os replicadores façam cópias de si mesmos para as gerações seguintes.

Autopoiese é uma proposição teórica que argumenta em favor de uma "circularidade"/ "autodefinição" organizacional de um sistema vivo, por ser este uma estrutura fechada cuja rede de componentes metabólicos confecciona e limita sua própria rede, que, por sua vez, produz novos componentes metabólicos. Entretanto,

se essa rede de componentes é fechada em termos de organização, é aberta em termos de matéria e energia, pois há sempre troca material e energética com o ambiente externo.

Mais recentemente, o paradigma da biossemiótica pretende estabelecer uma correspondência entre a ciência que estuda os sistemas linguísticos – a semiótica – e a biologia, na medida em que esta, uma ciência do organismo, interpreta nos signos na natureza as características que diferenciam os sistemas biológicos dos não biológicos. Em favor da biologia, os biossemioticistas argumentam que o emprego de teorias e conceitos semióticos na interpretação dos signos informacionais biológicos tende a fornecer uma nova visão do objeto de estudo da biologia, podendo até mesmo revolucioná-la (EMMECHE; EL-HANI, 2000, p.49).

Em resumo, apesar de opiniões contrárias acerca da necessidade de se debruçar sobre uma ou mais definições de “vida” ou da validade em termos biológicos deste ou daquele paradigma, Emmeche e El-Hani atestam que é relevante às ciências biológicas apresentar uma visão que abranja a totalidade dos organismos vivos ao invés da prevalência das sempre discordantes listagens de propriedades que se mostram desvinculadas de um paradigma teórico. Esses autores não só reforçam a importância dessas definições abrangentes de “vida”, como atestam que tais definições já se encontram disponíveis nesses três paradigmas citados, pelo menos: teoria neodarwinista da seleção natural dos replicadores, autopoiese e biossemiótica.

4.3) Ensino de Ciências à luz do conceito de *aprendizagem significativa*

Uma aprendizagem frutífera, isto é, aquela que adiciona substrato formativo à vivência do estudante-cidadão-profissional, não depende apenas do domínio conceitual do professor e da receptividade do seu aluno. Apesar de desejáveis, esses aspectos não são suficientes para garantirem efetividade em uma interação docente-estudante no processo de ensino-aprendizagem. Há que se lidar com uma série de obstáculos que, uma vez instalados e cristalizados, representam condições mais influentes no andamento desse curso do que os aspectos favoráveis inicialmente mencionados.

A respeito das proposições pedagógicas que se dispõem a potencializar o processo de ensino-aprendizagem, cabe mencionar a visão ausubeliana de *aprendizagem significativa*: aquela que se instala quando uma informação nova interage com um aspecto que seja relevante à estrutura cognitiva de uma pessoa. Segundo Mintzes e Wandersee (2000, p.52), a *aprendizagem significativa* ocorre quando os três seguintes critérios encontram-se presentes: o material a ser aprendido deve conter em si um potencial significado; o estudante já deve ter conceitos relevantes para *ancorar* as novas ideias; esse estudante precisa optar voluntariamente pela interiorização do novo conhecimento por meio de uma relação não arbitrária. Tal relação não arbitrária e substantiva – articulada entre as ideias expressas simbolicamente e as informações adquiridas previamente pelo estudante – tende a se estabelecer pelo vínculo de uma ideia com algum aspecto importante à estrutura de conhecimento do aluno, tal qual uma imagem, um símbolo, um conceito ou uma proposição (AUSUBEL; HANESIAN; NOVAK, 1980, p.34).

A origem da vida não é um tema cujo teor seja desprezível ao aluno, que possivelmente já se tenha perguntado ou questionado amigos ou adultos sobre como a vida se originou no planeta ou fora dele. O tema é potencialmente interessante a um indivíduo que experimenta diariamente a vida, mas desconhece muitos de seus segredos. Essa relevância temática atende a uma das condições para a *aprendizagem significativa*: a origem da vida apresenta um significado potencial.

Prosseguindo nas observações de Mintzes e Wandersee acerca das condições para a *aprendizagem significativa*, admite-se que as concepções que o estudante traz ao longo de sua vida sobre o tema encontram o eventual contraste com as novas informações apresentadas na sala de aula. O conhecimento prévio do estudante pode *ancorar* os dados recém-chegados, sobretudo se estes constituírem vínculos com o material anterior, proporcionando explicações mais consistentes. A título de exemplo, é plausível supor que a hipótese da panspermia apresentada na escola encontre ligação com material de que o aprendiz já dispõe, pois a discussão sobre a possibilidade de vida em outros planetas é assunto premente nos mais variados grupos sociais e faixas etárias, permeando os meios de comunicação disponíveis na atualidade.

Justificando a pesquisa transcrita nesta dissertação, convém considerar a contribuição de outras disciplinas escolares na construção de uma quantidade maior

de vínculos entre os conhecimentos prévio do aluno e o oferecido pela disciplina de Biologia. Exemplificando esse diálogo produtivo entre as disciplinas, os subsídios disponibilizados pela Química podem contribuir para uma melhor compreensão de saberes recorrentes nos livros didáticos de Biologia, tais como as condições físico-químicas da Terra primitiva, os processos bioquímicos que originaram e mantiveram os primeiros organismos vivos e o emprego de terminologia própria da Química.

Completando os critérios propostos por Mintzes e Wandersee para a ocorrência da *aprendizagem significativa*, é necessário que o estudante decida voluntariamente pela interiorização do novo conhecimento, e isso será mais efetivo no caso de algum viés relevante da estrutura cognitiva do estudante ser vinculado a novas ideias recém-chegadas, que podem ser uma explicação convincente para a ocorrência da vida em outros planetas, a importância dos processos químicos na diversificação da vida, a necessidade de se articularem ramos diversos da ciência, a representatividade do trabalho do cientista, entre tantos outros.

Para explicar a *aprendizagem* significativa, Ausubel reputou como fundamental o processo da *subordinação* ou *subsunção* (MINTZES; WANDERSEE, 2000, p.52), no qual o novo conhecimento, formado por conceitos mais específicos e menos inclusivos, encontra-se vinculado a conceitos mais gerais e inclusivos e às proposições já pertencentes à estrutura cognitiva do estudante. Em outras palavras, o desenvolvimento conceitual é otimizado quando estruturas mais gerais de um conceito são apresentadas em primeiro lugar e, posteriormente, tal conceito vai se diferenciando gradativamente em detalhamento e especificidade (MOREIRA; MASINI, 2009, p.29). De acordo com a teoria ausubeliana, há que se distinguirem dois tipos de *subsunção*: a *derivativa*, na qual os novos conceitos servem de exemplo, sustentação ou ilustração para o material previamente internalizado pela pessoa, do qual derivam diretamente; por sua vez, a *subsunção correlativa* se dá quando os conteúdos de aprendizagem são extensões, elaborações, modificações ou qualificações de material já existente na estrutura cognitiva do indivíduo (AUSUBEL; HANESIAN; NOVAK, 1980, p.49).

Entretanto, os tipos de subsunções categorizados pela teoria ausubeliana não se restringem aos mencionados anteriormente, pois a *subsunção* definida como *obliteradora* representa um aspecto muito importante quando se analisam as limitações da *aprendizagem significativa*. Mintzes e Wandersee posicionam a *subsunção obliteradora* nesse contexto:

> Quando a aprendizagem resulta numa grande mudança dos significados dos conceitos ao longo do tempo, pode impedir a lembrança do conhecimento menos inclusivo, aprendido anteriormente. Parece que o processo de *aprendizagem significativa* pode ser uma "espada de dois bicos", que produz uma estrutura mais forte e poderosa de conceitos relacionados que fortalece a futura aprendizagem. Contudo, pode também resultar numa incapacidade de reter conceitos e proposições específicos, menos inclusivos. (2000, p.52)

Da interação de proposições e conceitos novos e mais inclusivos com o material relevante já disponível na estrutura cognitiva, pode ocorrer uma reordenação tal que proporcione mudanças conceituais no estudante. Segundo Ausubel, Hanesian e Novak (1980, p.49), "a nova aprendizagem apresenta uma relação *superordenada* para a estrutura cognitiva quando se aprende uma nova proposição inclusiva que condicionará o surgimento de várias outras ideias". Na reorganização do conhecimento, promovida ao longo da *aprendizagem significativa*, esses autores definem dois processos relacionados: um deles se efetiva na *diferenciação progressiva* de um conceito ou proposição à medida que novas informações são submetidas ao conceito ou à proposição inclusiva; o segundo processo, denominado *reconciliação integradora*, se estabelece quando a nova informação provoca uma recombinação, portanto novo significado, aos elementos existentes na estrutura de conhecimento da pessoa (p.103-104).

Em virtude de sua articulação, a *aprendizagem significativa* difere radicalmente da aprendizagem dita *mecânica*: esta definida como uma aquisição de associações arbitrárias em que o material de aprendizagem não se vincula logicamente à estrutura cognitiva do aprendiz (AUSUBEL; HANESIAN; NOVAK, 1980, p.521). Nos contextos instrucionais de Biologia e Química, figuram, como sugestões de "caminhos fáceis", as "regrinhas", "músicas" ou resumos, cuja retenção pelo aluno não passa muito da data da prova ou do dia do vestibular. Isso reforça a constatação de que temáticas podem ser, de fato, empobrecidas em seus valores instrucionais. Entretanto, tal desvalorização se deve muito a opções pedagógicas que convertem conceitos em "palavras memorizáveis" ou em classificações que se preocupam mais com a nomenclatura do que propriamente com os critérios e fundamentos geradores de uma classificação.

5) Potencial complementaridade entre os conjuntos de saberes de Biologia e Química

A almejada articulação conceitual entre as disciplinas escolares integrantes da área de Ciências da Natureza parece existir efetivamente apenas nos escritos das propostas curriculares governamentais e manuais dos professores dos livros didáticos. No cotidiano das escolas, o que se verifica concretamente é uma incessante e aparentemente insolúvel busca pelo diálogo entre as disciplinas, seja por meio de projetos multidisciplinares, seja por meio de adaptações nas obras didáticas a fim de se constituir uma mínima unidade entre os conteúdos programáticos de Biologia, Química e Física. Na reafirmação do caráter disciplinar do conhecimento, a Escola – aqui representada por seus educadores, suas ideias e práticas – exagera de tal modo no isolamento curricular, que certos conceitos biológicos, químicos e físicos, ainda que reservados seus contextos particulares, parecem ser exclusivos desta ou daquela disciplina.

Uma das etapas deste trabalho de investigação consiste em tomar um determinado saber escolar próprio da Biologia e subsidiá-lo com conceitos químicos que o tornem mais aberto, mais afeito a inferências que o redimensionem; além do fundamental viés biológico, a origem da vida pode ser estudada sob uma ótica que perpasse a mera descrição de substâncias e fenômenos vitais, pois é na prévia abordagem química que estes se estruturam e se fundamentam.

Ao longo deste capítulo, encontram-se indicados saberes químicos cuja inscrição prévia ou concomitante pode, conforme a pesquisa transcrita nesta dissertação, contribuir para uma melhor compreensão da temática sobre a origem da vida abarcada pela disciplina de Biologia. Não se trata de propor uma pretensiosa e radical reestruturação dos currículos tradicionais de Química e Biologia, algo evidentemente legítimo, mas que foge ao escopo deste trabalho. De fato, o que se objetiva nesta investigação é a promoção de um diálogo entre as duas disciplinas que fomente ganho de aprendizagem para o estudante quando este se depara com um conteúdo biológico carente de fundamentação ou explicitação química. Esse empecilho é destacado por Mintzes e Wandersee (2000) quando apontam que as dificuldades conceituais dos alunos de Biologia residem em grande parte na necessidade de integrar o conhecimento oriundo de diferentes fontes (p.83).

A articulação proposta entre as duas disciplinas é pedagogicamente proveitosa para ambas: se a temática de Biologia adquire um aprofundamento em seu poder explanatório, por meio da inscrição de saberes químicos, Química, por sua vez, tem seus conceitos redimensionados e recontextualizados, pela ruptura da barreira disciplinar que os estancava.

É bem verdade que OB1, OB3 e, sobretudo, OB4 pretendem suprir suas demandas conceituais químicas ou bioquímicas com esclarecimentos introdutórios: definição de átomos e moléculas, substâncias constituintes das células, enzimas e o metabolismo, fermentação, respiração, fotossíntese, síntese das proteínas (OB1, volume 1); descrição de substâncias presentes na bioquímica celular (OB3, volume 1); fundamentos de atomística, ligações químicas covalentes e iônicas, descrição das macromoléculas ("moléculas gigantes"), descrição dos componentes químicos constituintes dos corpos vivos, digestão, respiração, fotossíntese e respiração (OB4, volume 2). Apesar de ser um procedimento favorável ao aprofundamento químico do estudo sobre a origem da vida – principalmente quando esta é abordada na parte final do curso de Biologia –, parece mais acertado, por conta da fluência do curso, que os conceitos químicos sejam abordados detalhadamente por Química, mas contextualizados por Biologia.

As próximas páginas versam sobre as esperadas potencialidades integradoras do discurso químico inserido em uma temática biológica.

5.1) Assuntos articuladores

A teoria da evolução dos sistemas químicos, a instalação e manutenção funcional dos primeiros seres podem ser considerados assuntos articuladores no estudo sobre a origem da vida proposto pelas obras de Biologia, uma vez que recebem destaque nos conteúdos textuais das quatro coleções e demandam uma quantidade relevante de conceitos vinculados à simbologia química, reações (aspectos quantitativos e qualitativos), ligações químicas, termoquímica, cinética, eletroquímica, química orgânica, bioquímica, entre outros.

5.1.1) Teoria da evolução dos sistemas químicos

Tendo como alicerce os trabalhos de pesquisadores como Aleksandr Oparin, John Haldane, Sidney Fox, Stanley Miller e Harold Urey, os aspectos gerais dessa teoria encontram respaldo da comunidade científica até os dias atuais, uma vez que seus pressupostos conceituais agregaram enfoques consistentes extraídos de diversos campos da ciência (química, geologia, astronomia, etc), passíveis de serem testados por meio de simulações e replicações em laboratório.

Elaborada nas primeiras décadas do século XX, a teoria parte da estrutura geológica admitida para a Terra primitiva em termos de intensa atividade vulcânica e da suposta composição atmosférica nesse período turbulento: dióxido de carbono, água, gás nitrogênio, metano, amônia e gás hidrogênio. Uma vez que a atmosfera do planeta seria desprovida dos gases oxigênio e ozônio, a ação dos raios ultravioleta seria intensa. Além dessa radiação, as descargas elétricas também forneceriam agitação e energia suficientes para que algumas das substâncias constituintes da presumível atmosfera reagissem entre si. Dessas reações, surgiriam moléculas gradativamente mais complexas até se constituírem os coacervados, entidades envoltas em uma membrana aquosa estável, cujo isolamento com o meio externo seria necessário para que a capacidade organizacional desses coacervados aumentasse, até a posterior aquisição de características próprias dos organismos vivos.

Posteriormente, a teoria de evolução dos sistemas químicos foi testada em laboratório por Sidney Fox, que, ao aquecer brandamente uma mistura de aminoácidos e os resfriar com água, obteve microesferas capazes de se multiplicarem de modo semelhante ao modelo de coacervado construído preliminarmente por Oparin.

No início da década de 1950, Harold Urey e Stanley Miller acondicionaram em um recipiente uma mistura com a suposta composição da atmosfera da Terra primitiva (água, amônia, metano e hidrogênio), submetendo o combinado gasoso à ação de calor e descargas elétricas. Passados alguns dias, recolheram, entre as substâncias formadas, aminoácidos simples como a glicina e a alanina.

As obras didáticas de Biologia abordam dessa forma a teoria da evolução dos sistemas químicos:

Obra	Descrição sucinta
OB1	É descrito o arcabouço teórico da proposição de Oparin a respeito da série de transformações ambientais pelas quais passou a Terra em seus primórdios e de como essas transformações foram decisivas para o aumento gradativo da complexidade das substâncias existentes (p.304). Adicionalmente, são mencionados os experimentos de Miller e Fox – realizados durante a década de 1950 – que objetivavam confirmar as proposições oparinianas (p.305). Na sequência, tem lugar uma rediscussão das teorias de Oparin à luz de novos conhecimentos sobre a constituição do ambiente da Terra primitiva, da estrutura dos genes e da polêmica acerca do aparecimento das células e dos genes (p.307).
OB2	Os autores destacam o trabalho experimental de Stanley Miller na simulação das condições supostamente existentes nos primórdios do planeta (p.32); as proposições teóricas de Aleksandr Oparin a respeito da formação de estruturas orgânicas gradualmente mais complexas (p.33) e o trabalho experimental de Sidney Fox na obtenção das microesferas a partir de aminoácidos aquecidos (p.34).
OB3	São mencionados os experimentos de Stanley Miller, Sidney Fox e Melvin Calvin que objetivavam simular as condições atmosféricas da Terra primitiva (p.98). Seguem-se os princípios do mecanismo de coacervação de Aleksandr Oparin (p.99), da lenta transição das moléculas orgânicas até o surgimento de organismos vivos rudimentares (p.100).
OB4	O experimento do estudante Stanley Miller, orientado por Harold Urey, é descrito e ilustrado (p.199). A apresentação da teoria da evolução dos sistemas químicos aborda as condições ambientais da Terra primitiva (p.198) e especula sobre a participação de moléculas orgânicas gradualmente mais complexas em processos que formariam a pré-célula (p.200).

Tabela 21 – Abordagem da teoria da evolução dos sistemas químicos de acordo com as obras de Biologia analisadas.

5.1.2) Instalação e manutenção funcional dos primeiros seres vivos

Na atualidade, duas das proposições voltadas a explicar a origem da vida na Terra mobilizam a comunidade científica: a teoria do replicador primordial, cujo fundamento é admitir que, em determinada etapa da história da Terra, uma molécula foi capaz de gerar cópias de si mesma; a teoria do metabolismo primordial, cujo conceito básico é considerar que, em dado momento, uma fonte energética favoreceu uma série de reações químicas em moléculas simples postas em contato. Essas reações proporcionariam um aumento da complexidade do sistema com correspondente criação de metabolismos e moléculas gradativamente mais complexas, o que orientaria disposições mais sofisticadas e diversificadas das estruturas participantes.

Sedimentadas essas duas teorias, caberiam as decorrentes especulações relacionadas à manutenção alimentar dos primeiros seres vivos.

A primeira hipótese, denominada autotrófica, considera a existência de organismos capazes de aproveitarem energeticamente o ambiente em que habitam – muitas vezes extremamente agressivo –, obtendo seu alimento a partir de processos químicos variados. A presença de bactérias quimiossintetizantes em ambientes do planeta recentemente descobertos vem fortalecendo a hipótese autotrófica, uma vez que a agressividade química e térmica desses habitats seria bastante semelhante às condições ambientais da Terra primitiva. Os opositores dessa hipótese alegam que esses seres primitivos seriam de tal modo simples, que não teriam condições organizacionais de produzir seu alimento.

Então, a hipótese denominada heterotrófica, por considerar esses organismos primordiais incapazes de sintetizarem seu próprio alimento, admite que eles recorreriam à matéria orgânica disponível no planeta, mas essencialmente originária do espaço sideral, para suprirem tal necessidade. Por sua vez, essa grande disponibilidade de material orgânico é o principal ponto de discordância levantado pelos opositores da hipótese heterotrófica.

As coleções de Biologia abordam desse modo os aspectos ligados à instalação e à manutenção funcional dos primeiros seres vivos:

Obra	Descrição sucinta
OB1	Os autores descrevem as hipóteses relacionadas à natureza autotrófica ou heterotrófica dos primeiros seres vivos, apresentando os mecanismos bioquímicos da fermentação, fotossíntese (p.308) e respiração dos primeiros organismos (p.309). O texto oferece argumentos para a origem e evolução das estruturas celulares, alicerçadas na hipótese de Robertson sobre o aparecimento das células eucariontes (p.309) e na teoria endossimbiôntica de Lynn Margulis, que concebe a relação simbiótica entre duas células de tamanhos diferentes formadora de orgânulos, como mitocôndrias e cloroplastos (p.310). A seguir, os autores expõem um esquema conceitual que pretende combinar a hipótese de Robertson com a teoria endossimbiôntica e apresentam uma ilustração desta proposição combinatória (p.311). Um texto complementar especula sobre a relação entre a existência de bactérias autótrofas terrestres, pouco exigentes em termos de sobrevivência, e a possibilidade de vida (atual ou passada) no planeta Marte (p.311); há uma atividade de interpretação de leitura estruturada em três questões sobre o texto (p.312).
OB2	O texto ressalta a importância das moléculas de RNA nos processos químicos de estruturas orgânicas precursoras das estruturas vivas (p.34); descreve as hipóteses heterotrófica e autotrófica e especula sobre o aparecimento da fotossíntese (p.35) e da respiração aeróbia (p.36). Em seguida, são citados argumentos que pretendem sustentar teoricamente as etapas evolutivas dos organismos vivos primordiais, das células procarióticas e posteriores eucarióticas (p.37) até o surgimento dos seres eucarióticos multicelulares (p.39).

Tabela 22 – Abordagem dos aspectos ligados à instalação e à manutenção funcional dos primeiros seres vivos de acordo com as obras de Biologia analisadas (continua).

Obra	Descrição sucinta
OB3	São apresentadas as hipóteses autotrófica e heterotrófica, sendo esta última alicerçada pela apresentação das possíveis condições da Terra primitiva (p.97). Mais adiante, tem lugar a especulação sobre a natureza dos primeiros organismos, admitidos como heterótrofos no princípio, e autótrofos, posteriormente (p.100).
OB4	São descritos os processos físico-químicos envolvidos na formação da célula procariótica (p.203) cujo reino, o das moneras, originaria os demais reinos dotados de células eucarióticas (p.204). O texto intitulado "Um experimento em Marte" relata um trabalho, datado de 1996, que levantou a possibilidade de serem bactérias fossilizadas os corpúsculos encontrados em um meteorito marciano investigado (p.203).

Tabela 22 – Abordagem dos aspectos ligados à instalação e à manutenção funcional dos primeiros seres vivos de acordo com as obras de Biologia analisadas (conclusão).

5.2) Contribuições específicas de saberes químicos

Ao longo dos conteúdos textuais das quatro coleções de Biologia, estão distribuídos assuntos que, diferentemente dos assuntos mencionados nos dois subitens anteriores (denominados articuladores), não estão obrigatoriamente presentes em todas as obras nem constituem tópicos particulares inseridos na temática sobre a origem da vida, mas merecem destaque por demandarem conceitos químicos inscritos em contextos mais específicos. A apropriação em tempo hábil desses conceitos permite que o aluno de Biologia transite melhor pela nomenclatura e representações simbólicas próprias da Química, noções de interação atômica, proporcionalidade reativa e fatores físico-químicos influentes em processos relacionados à instalação da vida primitiva no planeta.

5.2.1) Emprego de nomenclatura e simbologia próprias da Química

A dificuldade expressa pelos estudantes no trato com a terminologia de origem científica é um aspecto importante a ser considerado, quando se faz uma análise sobre os obstáculos de aprendizagem na área das Ciências da Natureza. Em Biologia, os termos relacionados aos diversos níveis de organização dos seres vivos (do molecular ao relacional com outros organismos e o mundo não vivo) são frequentemente novos e difíceis de serem resgatados etimologicamente pelo

estudante que experimenta há pouco tempo tal acréscimo de vocabulário; pode-se criar uma impressão de que um bom aproveitamento do curso está essencialmente vinculado à boa memorização de palavras e expressões, apesar de ser plausível supor que o acesso a um domínio cognitivo particular, como o da ciência, demanda uma ampliação do acervo vocabular do aluno.

Em Química, algumas palavras requerem uma capacidade de abstração que não se estabelece ou se efetiva de modo imediato assim que o estudante contata o novo vocabulário. Os conceitos de átomo, elemento químico, molécula, íon e substância, por exemplo, exigem certo esforço do aluno para transitar por esse repertório, uma vez que há falta de materialidade nessas estruturas conceituais.

Levando-se em conta o momento em que é sugerida a apresentação de aspectos referentes à origem da vida, há que se estabelecer um paralelo com o que é proposto aos alunos nas aulas de Química. No início do Ensino Médio, é bem provável supor que os docentes desta disciplina optem pela abordagem de saberes com enfoque macroscópico – temáticas com as quais os aprendizes podem lidar por meio da via empírica –, encaminhando o estudo teórico de estruturas elementares para etapas posteriores. Segundo Beltran e Ciscato (1991, p.25), a opção docente por iniciar o curso de Química com o estudo da estrutura atômica é muito difícil, pois os alunos não conseguem compreender nesse momento tal assunto a partir de um quadro lógico. Por outro lado, analisar primeiramente uma substância sob o viés macroscópico dará ao estudante maiores possibilidades de interagir com temas ligados às propriedades dessa substância, tais como sua densidade, suas temperaturas de fusão e de ebulição ou sua solubilidade em determinado solvente.

Entretanto, ainda no primeiro ano do Ensino Médio, o conteúdo de Química já engloba um vasto acervo de representações simbólicas, bem como os fundamentos de atomística (átomo, elemento químico, íon, entre outros) e ligações químicas, com o correspondente estudo estrutural de substâncias metálicas, iônicas e moleculares. Esses saberes subsidiam o contato que o aluno terá com diversos termos e expressões presentes nos textos sobre a origem da vida, tais como as especulações sobre os elementos químicos disponíveis no universo em formação ou as substâncias constituintes da atmosfera primitiva da Terra e participantes de reações bioquímicas essenciais. Na exposição desses temas, os estudantes tendem a constituir eventuais equívocos nas diferenciações conceituais entre elemento químico – forma simples de matéria, constituída por uma única espécie de átomo

(ATKINS; JONES, 2001, p.46) – e o próprio átomo, ou nas caracterizações de átomo eletricamente neutro, íon e molécula, sendo esta última, segundo Atkins (2002), “um grupamento específico, discreto, de átomos [não necessariamente iguais] num arranjo geométrico definido (p.5)”. Convém ressaltar que a construção da ideia de molécula e sua diferenciação de um agregado de átomos/íons de uma substância metálica ou iônica representam um desafio conceitual que não pode ser desconsiderado no ensino-aprendizagem não só de Química, mas na área de Ciências da Natureza como um todo. A partir de um modelo molecular consistente, advém uma análise e um entendimento mais acurado por parte do aluno sobre as propriedades das substâncias, entre as quais a condutividade elétrica.

Considerando os capítulos referentes à origem da vida, as quatro coleções de Biologia apresentaram uma correta representação tanto para os símbolos dos elementos químicos mencionados nos textos, quanto para as fórmulas químicas indicativas das diversas substâncias descritas. De acordo com Atkins e Jones (2001, p.56), pode-se definir fórmula química como um modo de expressar a composição de um composto em termos de símbolos químicos, sendo empregados números subscritos para indicar a quantidade de átomos de cada elemento químico existente na menor unidade desse composto. Espera-se que o conhecimento adequado de representações gráficas e nominais de símbolos e fórmulas beneficie o estudante no entendimento da disposição e natureza das substâncias participantes de um processo químico, sejam reagentes, sejam produtos; esse aporte conceitual favorecerá futuramente a interpretação qualitativa de diversos processos bioquímicos mencionados e equacionados nas coleções de Biologia, tais como respiração, fotossíntese e fermentação.

5.2.2) Aspectos qualitativos e quantitativos das reações químicas

Para lidar adequadamente com as informações disponibilizadas quando da apresentação dos processos bioquímicos relacionados à origem da vida, é desejável que o aluno conheça as representações simbólicas de uma reação – identificação dos reagentes e produtos, estado físico das substâncias, sentido majoritário de ocorrência de reação, fatores externos interferentes, entre outras – e entenda as relações quantitativas de um fenômeno químico, cuja base são as leis ponderais

(Conservação da Massa e Proporções Definidas) e o cálculo estequiométrico que requer o conceito de mol e o de massa molar.

Esse domínio simbólico e matemático contribuirá para que o estudante trate das seguintes situações em que as obras de Biologia fazem referências a aspectos qualitativos ou quantitativos de uma reação química:

5.2.2.1) Fotossíntese e respiração aeróbia

A ilustração e a legenda reproduzidas a seguir estão presentes em OB2 (p.37):

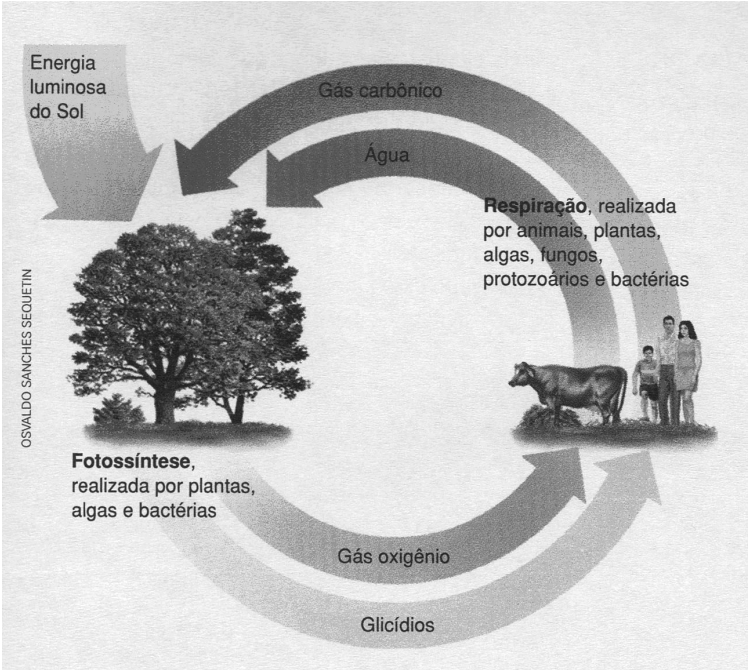

Figura 01 – Representação esquemática do equilíbrio dinâmico entre a fotossíntese e a respiração aeróbia.

Em OB2, a legenda transcrita abaixo encontra-se originalmente no lado direito da ilustração reproduzida na figura 01:

> Na fotossíntese, os reagentes gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) originam glicídios e gás oxigênio (O_2) como produtos. Na respiração aeróbia ocorre o inverso: os reagentes são gás oxigênio (O_2) e substâncias orgânicas; os produtos são gás carbônico (CO_2) e água (H_2O).

De fato, as reações bioquímicas de fotossíntese e de respiração aeróbia são assemelhadas em termos de substâncias participantes, mas a correspondência não é perfeita. Simplificadamente, os dois processos podem ser assim equacionados:

Fotossíntese:

$6\ CO_{2\ (g)} + 6\ H_2O_{\ (l)} + \text{energia luminosa} \longrightarrow C_6H_{12}O_{6\ (s)} + 6\ O_{2\ (g)}$

Respiração aeróbia:

$C_6H_{12}O_{6\ (s)} + 6\ O_{2\ (g)} \longrightarrow 6\ CO_{2\ (g)} + 6\ H_2O_{\ (l)} + \text{energia}$

Apesar de a fotossíntese realizada por bactérias, algas e plantas e a respiração aeróbia serem processos energéticos que se encontram em equilíbrio dinâmico, não é apropriado considerar um inverso do outro. O primeiro processo gera compostos energéticos alimentares e o segundo obtém energia a partir da oxidação de alimentos. Entretanto, a energia luminosa empregada como reagente por esses seres fotossintetizantes não é liberada como produto na forma de luz pelos organismos que respiram aerobicamente.

Sobre as reações bioquímicas equacionadas ao longo do texto de OB2, é oportuno extrair um pequeno trecho: “Na fotossíntese, gás carbônico e água são utilizados como reagentes, **originando moléculas orgânicas e gás oxigênio (O_2) como produtos**” (p.36, grifo nosso). Contudo, o texto não coincide com o representado pela seguinte equação, uma vez que a água se encontra também no membro dos produtos (p.35):

$$\underset{\text{Gás carbônico}}{6\ CO_2} + \underset{\text{Água}}{12\ H_2O} + \text{energia luminosa} \longrightarrow \underset{\text{Glicose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Gás oxigênio}}{6\ O_2} + \underset{\text{Água}}{6\ H_2O}$$

Adicionalmente, seria conceitualmente adequado destacar que o mecanismo de fotossíntese foi representado por meio de uma equação química global (acima), uma vez que esse processo bioquímico é constituído por diversas outras reações químicas.

5.2.2.2) Equacionamento químico

OB1 equaciona alguns processos químicos da seguinte forma:

a) $\boxed{\text{glicose} \longrightarrow 2\ \text{álcool etílico} + 2\ CO_2 + \text{energia}}$ (p.308)

(fermentação alcoólica)

b) $CO_2 + H_2O + luz \longrightarrow glicose + O_2$ (p.308)

(fotossíntese)

c) $glicose + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + energia$ (p.309)

(respiração)

Os autores optaram por formular quimicamente apenas as substâncias de estrutura molecular mais simples, cujos nomes devem ser mais familiares aos estudantes; contudo, o mais apropriado seria apresentar os nomes e as respectivas fórmulas de todos os compostos presentes. Não se trata de enaltecer uma memorização estéril, mas uma gradual e necessária apropriação de um vocabulário científico que deve ser expandido pelo estudante na construção das habilidades e das competências próprias das Ciências da Natureza.

Como já foi mencionado, lidar com equações remete a outra temática fundamental ao estudo significativo da Química: o cálculo estequiométrico. Sua relevância encontra-se na possibilidade de ampliar-se, abarcando diversos aspectos tecnológicos e econômicos, discussões comumente eclipsadas pela necessidade que oprime professores e alunos de “seguir a matéria”.

Analisando-se as equações “a”, “b” e “c”, detecta-se uma situação híbrida: a equação “a” possui um coeficiente “2” precedendo o composto álcool etílico (etanol) e outro coeficiente “2” anterior ao dióxido de carbono, ou seja, está balanceada em termos estequiométricos. Contudo, para um correta proporção estequiométrica, as duas outras equações necessitam do coeficiente estequiométrico “6” precedendo cada uma das substâncias participantes, exceto para a glicose, que necessita do coeficiente “1”.

É possível que os autores considerem prematura a discussão acerca do balanceamento de equações ou que fuja ao escopo dos temas apresentados até o momento, mas faz-se necessário informar que o coeficiente é um indicativo de proporção, uma vez que reações químicas ocorrem sob proporções definidas, sendo relevantes nesse contexto tanto o excesso quanto a falta de determinado reagente; e tal percepção quantitativa é altamente valiosa quando se analisam, por exemplo, a rentabilidade de um processo industrial, a quantidade de uma substância a ser

utilizada na neutralização de um contaminante ambiental ou a dosagem precisa de um medicamento a ser ministrada a um paciente.

Cabe refletir, então, a respeito dos momentos em que as disciplinas de Química e Biologia inserem, respectivamente, os fundamentos de reação e a temática sobre a origem da vida. Introduzir o subsídio conceitual de reação antes de apresentar a temática biológica pode contribuir não só para que o aluno perceba a interferência de processos químicos em fenômenos ligados à vida, mas também para que ele amplie sua compreensão qualitativa e quantitativa dos enunciados das equações bioquímicas e lide com eventuais simplificações ou omissões desses enunciados.

5.2.3) Aspectos físico-químicos associados às reações

As reações químicas, sob uma perspectiva mais abrangente, não compreendem apenas as substâncias que participam como reagentes ou produtos, mas também suas interações com a luz, o calor (liberado nos processos exotérmicos e absorvido nos endotérmicos); com o trânsito de elétrons (oxidação e redução de espécies químicas); com o tempo (interferências na rapidez de uma reação). Logo, os aspectos físico-químicos relacionados à luz, calor, fluxo de elétrons e tempo devem ser considerados pelo estudante em suas tarefas de compreender e representar as reações.

O processo endotérmico da fotossíntese depende da clorofila, que canaliza a energia luminosa e a armazena sob a forma de energia química potencial nos carboidratos produzidos. Apesar de serem negligenciadas em algumas menções ou representações do mecanismo fotossintético, a clorofila e a luz são componentes imprescindíveis para a efetivação desse processo bioquímico. É oportuno ressaltar a atuação química do trifosfato de adenosina (ATP), composto que armazena e direciona a energia oriunda da fotossíntese e da respiração celular.

Em reações metabólicas exotérmicas, nutrientes, como os carboidratos, são convertidos em glicose que é conduzida até as células, local onde se realiza a respiração celular; nesse processo, a energia é gerada a partir da reação do oxigênio com esses nutrientes convertidos. Igualmente exotérmicas são a fermentação alcoólica da glicose – fundamento da hipótese heterotrófica – e as

reações entre substâncias inorgânicas da primitiva crosta terrestre, base conceitual da hipótese autotrófica.

Considerando agora os fenômenos eletroquímicos, segundo Atkins, oxidação é a perda de elétrons ocorrida em determinada espécie química, ao passo que redução consiste no ganho de elétrons. A conjugação dos processos de oxidação e de redução corresponde ao processo químico denominado reação redox (2001, p.113). Portanto, processos de oxidação encontram-se indissociavelmente vinculados a processos de redução. De modo complementar, inscrevem-se as definições de agente oxidante e de agente redutor. Contendo o elemento químico que sofre redução, o agente oxidante provoca a oxidação de outra espécie química, recebendo elétrons desta; já o agente redutor encerra o elemento que é oxidado e, ao enviar elétrons, proporciona a redução de outra espécie química (p.115).

Pode-se constatar que a temática biológica que envolve os processos de oxidação-redução (redox) carece de uma abordagem prévia sobre os fundamentos e o acervo simbólico próprios da eletroquímica e da atomística, entre os quais o estudo dos modelos atômicos, do átomo eletricamente neutro e do íon, bem como os conceitos de ligação química. De posse desse aparato de conceitos, o aluno poderia entender com maior propriedade a interferência do gás oxigênio no transcurso das etapas decisivas da formação da Terra. Segundo a hipótese autotrófica, esse gás, inicialmente escasso na atmosfera terrestre, aumentou consideravelmente com a instalação gradual dos organismos fotossintetizantes. Substâncias orgânicas e metais teriam sido oxidados pelo O_2, uma vez que ocorreria um processo eletroquímico de redução neste gás: da espécie química elementar O_2 para a estrutura de óxido (óxido metálico, dióxido de carbono, entre outros). Após a hipotética extinção de um número altíssimo de organismos, surgiriam seres que não só seriam resistentes à ação oxidante do oxigênio, como também o utilizariam na ruptura das moléculas de seus alimentos.

Sob a perspectiva cinética, ao enfatizar a importância das propriedades químicas dos compostos orgânicos que entram na constituição do protoplasma, Oparin argumenta que, apesar das imensas potencialidades químicas desses compostos, sua reatividade é muito lenta (1963, p.76). Isso se mostraria um obstáculo determinante à consecução das reações que envolvem o protoplasma. Entretanto, a ação de catalisadores biológicos (fermentos) proporciona um

extraordinário incremento à velocidade dessas reações bioquímicas essenciais. Oparin acrescenta que, além da intensidade de ação, os catalisadores são fundamentais por conta de sua excepcional especificidade de atuação, sendo os mais diversos processos bioquímicos potencializados pela participação de um ou mais catalisadores específicos, que se regeneram no final do processo e já efetuam combinações com outras partes de substrato protoplásmico (p.77).

Na sequência de eventos ligados à formação e desenvolvimento dos primeiros organismos vivos do planeta, apenas OB3 não mencionou explicitamente a importância decisiva dos catalisadores nesse hipotético processo gerador de vida primitiva. Conforme o comentário de Oparin, a atividade do protoplasma não se deve apenas à simples disposição espacial dos seus diversos componentes; depende também da organização do tempo em que ocorrem seus processos (p.71).

Em síntese, associar os aspectos físico-químicos mencionados à estrutura das reações permite uma ampliação do discurso conceitual que perpassa as interações entre Biologia e Química, pois tende a enriquecer a relação do conhecimento escolar em Ciências da Natureza com a vida do homem social. A termoquímica fornece subsídios para que o aluno vislumbre os trânsitos da luz e do calor em mecanismos bioquímicos e compreenda que há processos que liberam energia para o ambiente e outros que dependem fundamentalmente da energia para ocorrerem. Se há processos cuja liberação energética é poluente, existe a quebra da ATP, cujo caráter exotérmico é fundamentado pelos princípios termoquímicos da ruptura/união de ligações covalentes e pela entropia, por exemplo. A termoquímica fornece substratos teóricos para que se discutam assuntos ligados à vida alimentar dos estudantes, que oscila de casos de obesidade a situações de fome e desnutrição. Por sua vez, a eletroquímica destaca a troca eletrônica entre espécies químicas como justificativa para que ocorram diversas reações importantes à vida e fundamenta o papel representado pelo gás oxigênio, por exemplo, cuja disponibilidade crescente na Terra foi central para as hipóteses que especulam sobre o desaparecimento de alguns organismos e o surgimento de outros. Esse debate sobre a definição de poluente pode ser estendido a outras substâncias, tais como o ozônio e os gases formadores do *efeito estufa*. Por último, os princípios cinéticos que norteiam as ações interferentes na rapidez de uma reação, entre elas o papel desempenhado pelos catalisadores e inibidores, mostram-se relevantes não só para a viabilização de processos bioquímicos vitais, mas também para os mais

diversos procedimentos tecnológicos da sociedade moderna, cujas necessidades não exigem sempre que se aumente a rapidez de uma reação; pelo contrário, alguns processos devem ser retardados em sua rapidez, tais como as indesejáveis destruições de materiais metálicos por corrosão.

5.2.4) Fundamentos de química orgânica e bioquímica

Como já foi verificado nesta dissertação, de todos os conjuntos de saberes químicos demandados por Biologia no tocante ao estudo da origem da vida, a química orgânica e os correspondentes subsídios bioquímicos são os que mais se distanciam temporalmente da temática biológica, uma vez que três das quatro obras de Biologia tratam do assunto no primeiro ano do Ensino Médio; já as duas coleções de Química só apresentarão conteúdo orgânico específico no terceiro ano.

Esse distanciamento compromete uma articulação entre as duas disciplinas que se efetivaria em pontos-chave do conteúdo textual de Biologia, tais como as descrições estrutural e funcional de diversas substâncias orgânicas e o levantamento de vários processos bioquímicos. O aprendizado desses temas em particular seria potencializado caso o aluno já conhecesse os fundamentos de atomística, ligações químicas – sobretudo as covalentes – e química orgânica.

Se o estudante já dispusesse desses saberes químicos, teria um modelo de molécula mais sedimentado, o que é relevante, pois a maioria dos compostos mencionados apresenta ligações covalentes e estrutura molecular. Também evitaria construções conceituais equivocadas, muito comuns no primeiro ano do Ensino Médio, tais como a sinonímia entre molécula orgânica e molécula “complexa”. De fato, considerando-se a quantidade de átomos por molécula, grande parte das moléculas orgânicas pode receber a designação de complexas. Diversos carboidratos, lipídios, proteínas, entre outros, apresentam estruturas com um número superior a dez átomos por molécula. Entretanto, outras moléculas orgânicas, tais como as de hidrocarbonetos de cadeias pequenas (metano, etano, entre outras) apresentam uma quantidade de átomos bem inferior. Ademais, outras substâncias não constituídas por moléculas também podem contar com um número considerável de átomos por unidade estrutural. Por exemplo, o sólido iônico inorgânico denominado sulfato de alumínio, $Al_2(SO_4)_3$, possui dezessete átomos por

agregado, ao passo que o composto orgânico metano, CH_4 , possui apenas cinco átomos por molécula. Levando-se em conta o aspecto de quantidade de átomos por entidade estrutural, molécula complexa não pode ser interpretada como sinônimo de molécula orgânica.

Se a complexidade atribuída à molécula reside na sua disposição espacial, há que se considerar a estrutura espacial de um sólido iônico, por exemplo, cuja estrutura do retículo cristalino possui um arranjo espacial igualmente intrincado. Mesmo a estrutura espacial cúbica do composto iônico cloreto de sódio, NaCl, uma das mais simples, possui um cátion Na^{1+} envolto por seis ânions cloreto, Cl^{1-} , o que ocorre também no inverso.

Por sua vez, muitas moléculas orgânicas desempenham funções essenciais aos mais variados e complexos processos exclusivos dos organismos vivos, o que pode justificar a designação dada de “molécula complexa” àquelas envolvidas nesses processos, tais como os ácidos nucleicos e as proteínas, por exemplo. Entretanto, a adoção da palavra biomolécula faria uma referência mais precisa à especificidade desse grupo de substâncias moleculares.

Estruturas orgânicas particulares recebem menções nas obras de Biologia, tais como polímeros que, segundo Atkins e Jones (2001, p.889), são substâncias formadas por repetições de cadeias ou redes de unidades pequenas que acabam por constituir moléculas gigantes. OB1 oferece uma definição da palavra “polímero”, disponível em nota de rodapé, que mostra concordância com o fundamento acadêmico:

> **Polímeros** são longas moléculas constituídas pela repetição de muitas unidades iguais ou semelhantes (monômeros). Assim, as proteínas são polímeros de aminoácidos, enquanto os ácidos nucleicos são polímeros de nucleotídeos. O aminoácido, por sua vez, seria o “monômero” de uma proteína. (p.306, grifo nosso).

Ainda OB1, ao descrever o experimento realizado por Fox ao final da década de 1950, cita e explica o mecanismo formador de uma ligação peptídica:

> [Fox] aqueceu uma mistura seca de aminoácidos e verificou que muitos deles se ligavam, formando moléculas semelhantes às da proteína. Haviam-se formado **ligações peptídicas** por perda de moléculas de água. Nesse caso, Fox estava simulando a parte das ideias de Oparin que propunha que os aminoácidos trazidos pelas chuvas, ao entrarem em contato com as rochas quentes da superfície, teriam se combinado, formando moléculas semelhantes a proteínas. (p.305, grifo nosso)

A definição de peptídeo constante na coleção de Biologia coincide com a acadêmica: molécula constituída a partir de dois ou mais aminoácidos, caracterizando-se pela presença do grupo funcional –CO–NH– (ATKINS; JONES, 2001, p.899-900).

Em resumo, a complementaridade entre Química e Biologia se dá em grande parte por conta do compartilhamento conceitual de saberes ligados à química orgânica e bioquímica e da administração temporal desses saberes pelas duas disciplinas. Como exposto, as possibilidades cognitivas são suficientes para justificar a tentativa de um trabalho coordenado, por mais impraticável que possa parecer, entre duas disciplinas de mesma área do conhecimento escolar.

6) Considerações finais

Refletir sobre a validade e a viabilidade de um ensino de Ciências consistente é um empreendimento desafiador para a escola contemporânea, uma vez que essa se encontra inserida em uma sociedade altamente comprometida com a produção e o consumo de artigos tecnológicos oriundos, em última instância, da pesquisa científica. Sendo assim, o currículo escolar não pode prescindir de um olhar para a ciência que a considere uma vívida e dinâmica atividade humana orientada por aspectos culturais, econômicos e políticos e influente na vida cotidiana das pessoas, ainda que apenas uma ínfima parcela dessas constituída por cientistas.

Apesar de existirem muitos argumentos que justificam a relevância educacional das disciplinas relacionadas às ciências naturais, há um olhar enfático sobre a potencial contribuição dessas disciplinas ao fomento da cidadania entre os jovens, que acessariam a essência de elaborações conceituais e processos produtivos intimamente relacionados às questões-chave do mundo contemporâneo, tais como o incremento das tecnologias ligadas à obtenção de alimentos e fármacos, os limites técnicos e éticos da pesquisa genética, os dilemas quanto ao uso e esgotamento das matrizes energéticas ou a escalada da poluição em diversos ecossistemas do planeta. Esses e tantos outros temas fazem menções inequívocas às práticas e aos procedimentos da ciência, cuja apropriação pelo currículo escolar não se dá, via de regra, com profundidade e propriedade necessárias, comprometendo as desejáveis interações entre a escola, a vida real e o pensamento científico.

Paira sobre o currículo escolar o desafio de situar-se historicamente. Nelio Bizzo (2012) argumenta que, entre o currículo contemporâneo, há o anacrônico e o vanguardista; o primeiro, sedimentado pela própria inércia da escola em busca da segurança, tende a perder gradativamente a tangência com o mundo real e, por isso, a aplicabilidade; o segundo, ao se constituir como algo inteiramente novo, invalida todo o conhecimento anterior; desse modo, o currículo contemporâneo deve ocupar uma posição entre o anacronismo e o vanguardismo, não sendo nem estático nem aniquilador (informação verbal)[1].

---

[1] Palestra proferida por ocasião do encontro anual de professores do Liceu Santista (*FormAção*), em 20 de janeiro de 2012.

Em se tratando de currículo, a constituição das disciplinas e, sobretudo, a articulação entre elas, representam parte importante da discussão pedagógica acerca do alcance do ensino de Ciências. Nesse contexto, é preciso considerar que, dos materiais instrucionais destinados ao trabalho do professor, o livro didático ocupa papel dos mais destacados, seja pela importância atribuída a ele pelos programas governamentais, seja pela quantidade de professores brasileiros que o utiliza. E é na análise dos conteúdos programáticos dos livros didáticos, mesmo parcial, que se percebe a falta de articulação temática entre disciplinas de mesma área do conhecimento escolar; o que impele variadas ações por parte dos docentes de Biologia, Química e Física, tais como a omissão ou o rearranjo de capítulos de seus respectivos livros a fim de sincronizarem sequências de saberes que julgam ser interdisciplinares. Contudo, em muitas situações, esse procedimento espontâneo gera integrações artificiais, pouco consistentes com os pressupostos teóricos que lhes deram origem. Nesse sentido, Edgar Jenkins (2007) observa que tal busca pela unidade conceitual entre as Ciências, agora como no passado, não reconhece que as ciências “básicas” apresentam estruturas conceituais e filosóficas distintas. Ele exemplifica o uso da palavra “sistema” que, ao ser definido como vivo por Biologia, apresenta capacidades que não encontram correspondência nos sistemas inanimados compreendidos por outras ciências. Da mesma forma, Jenkins atesta que químicos e físicos estabelecem focos distintos quando estudam o mecanismo de forças de atração entre partículas, assim como o determinismo das leis físicas contrasta com as variantes que dominam as seleções naturais e sexuais do mundo biológico. A própria ciência redefiniu-se ao longo do tempo, à medida que transformou suas intervenções e relações com os processos tecnológicos e produtivos requeridos pela sociedade humana.

Claro que, ao se propor uma articulação entre as disciplinas escolares, objetiva-se estabelecer contato com um pensamento científico mais consistente, mas não necessariamente mais uniforme, dada essa natureza mutável dos mecanismos que regulam e validam historicamente a ciência. Entretanto, localizar os pontos de convergência entre as disciplinas torna-se uma premissa pedagógica importante, pois, se as ciências apresentam suas fundamentais especificidades, mostram também interlocuções que, explicitadas, aumentam consideravelmente o poder explanatório de um conceito para o aluno. Por exemplo, o estudo da estrutura de uma molécula orgânica em Biologia toma de empréstimo, por assim dizer, um

acervo conceitual que é próprio da Química: ligações covalentes constituintes de uma substância molecular. Neste caso, a interlocução entre Biologia e Química não se dá pelo compartilhamento de seus métodos e enfoques, já que essas duas ciências – das quais as respectivas disciplinas escolares se originam – têm objetos de estudo diversos; a interação se dá pelo conceito de molécula, requisitado por Biologia e subsidiado por Química. Apesar de a substância orgânica inserir-se em contextos diferentes nessas disciplinas, o conceito molecular apresenta capacidade dialógica suficiente para que o estudante estabeleça conexões e construa uma definição coerente de molécula.

Refletir sobre a validade de se promoverem diálogos entre disciplinas constituintes de um currículo remete a questões primeiras e mais amplas. Parece fundamental, por exemplo, averiguar o quanto a Educação Básica brasileira atende ou deixa de atender às demandas sociais contemporâneas que cobram da escola – em proporções abusivas, muitas vezes – a preparação de seus alunos para darem conta de questões ligadas ao trabalho, tecnologia, meio ambiente e ética. A constatação de um cenário de desmotivação, ilustrado pela evasão tanto de alunos quanto de professores das redes públicas de Educação Básica, orienta a participação de instâncias governamentais em discussões voltadas a pensar currículo, escola e comunidade escolar. Das propostas de inclusão ou remoção de disciplinas escolares e flexibilização curricular, o Ministério e as Secretarias de Educação deparam-se com questões que perpassam o simples remanejamento de disciplinas ou de número de dias letivos, pois os maiores desafios continuam sendo aqueles vivenciados pelos atores fundamentais do processo de ensino-aprendizagem: como tornar útil para o aluno aquilo que ele aprende na escola e como os cursos de licenciatura podem formar professores mais capacitados para a docência.

7) Bibliografia

7.1) Fontes

AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto Rodrigues. **Biologia**. São Paulo: Moderna, 2005. 3v.

CANTO, Eduardo Leite do; SANTOS, PERUZZO, Francisco Miragaia. **Química na abordagem do cotidiano**. 3.ed. São Paulo: Moderna, 2005. 3v.

FELTRE, Ricardo. **Química**. 6.ed. São Paulo: Moderna, 2005. 3v.

FROTA-PESSOA, Oswaldo. **Biologia**. São Paulo: Scipione, 2005. 3v.

PAULINO, Wilson Roberto. **Biologia**. São Paulo: Ática, 2005. 3v.

SASSON, Sezar; SILVA JÚNIOR, César da. **Biologia**. São Paulo: Saraiva, 2005. 3v.

7.2) Referências bibliográficas

ANGOTTI, José André; DELIZOICOV, Demétrio; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências**: fundamentos e métodos. 3.ed. São Paulo: Cortez, 2009. (Docência em formação).

ATKINS, Peter. **Moléculas**. Tradução por Paulo Sérgio Santos e Fernando Galembeck. 1.ed. São Paulo: Edusp, 2002.

AUSUBEL, David P.; HANESIAN, Helen; NOVAK, Joseph D. **Psicologia Educacional**. Tradução por Eva Nick. 2.ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BELTRAN, Nelson Orlando; CISCATO, Carlos Alberto Mattoso. **Química**. 2.ed. São Paulo: Cortez, 1991. 243p. (Magistério–2º Grau. Série Formação Geral).

BRASIL. Ministério da Educação / Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio***.* Brasília: MEC/Semtec, 1999.

_____. Ministério da Educação / Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias***.* Brasília: MEC/Semtec, 2002.

_____. Ministério da Educação / Secretaria de Educação Básica (SEB), Departamento de Políticas de Ensino Médio. **Orientações Curriculares do Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEB, 2004.

DILLON, Justin; OSBORNE, Jonathan. Science Education in Europe: Critical Reflections. **Nuffield Foundation**, jan. 2008. Disponível em: <http://www.pollen-europa.net/pollen_dev/Images_Editor/Nuffield%20report.pdf >. Acesso em: 05 jun. 2011.

EL-HANI, Charbel Niño. Theory-based approaches to the concept of life. **Journal of Biological Education**, v.42, n.4, 2008.

EMMECHE, Claus; EL-HANI, Charbel Niño. Definindo vida. In: EL-HANI, Charbel Niño; VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. (Orgs.). **O que é vida?** Para entender a Biologia do século XXI. Relume Dumará: Rio de Janeiro, 2000.

FARLEY, John. **The spontaneous generation controversy**: From Descartes to Oparin. Baltimore and London: The John Hopkins University Press, 1977. 225p.

JENKINS, Edgar. School science: a questionable construct ? **Journal of Curriculum Studies**, 39:3 , 265-282 , mai. 2007 . Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00220270701245295>. Acesso em 10 jan. 2012.

LOPES, Alice Casimiro; MACEDO, Elizabeth. A estabilidade do currículo disciplinar: o caso das ciências. In: _____ (Orgs.). **Disciplinas e integração curricular**: história e políticas. Rio de Janeiro: DP&A, 2002.

MALDANER, Otavio Aloísio. **A formação inicial e continuada de professores de Química**: professores/ pesquisadores. Ijuí: Unijuí, 2000. 424 p. (educação em química).

MASINI, Elcie F. Salzano; MOREIRA Marco Antonio. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro, 2009.

MINTZES, Joel J.; WANDERSEE, James H. Investigação no ensino e aprendizagem da ciência: uma visão construtivista. In: MINTZES, Joel J.; NOVAK, Joseph D.; WANDERSEE, James H. **Ensinando ciência para a compreensão**: uma visão construtivista. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2000.

MORIN, Edgar. **Ciência com Consciência**. Tradução por Maria D. Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória.11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 350 p.

MORTIMER, Eduardo Fleury. **Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?** Investigações em Ensino de Ciências, vol 1, nº 1, 1996.

OPARIN, Aleksandr Ivanovich. **A origem da vida**. Tradução por Ernesto Luiz Maia. 5.ed. Rio de Janeiro: Editorial Vitória, 1963.

PALMA, Héctor A. **Metáforas e modelos científicos**: a linguagem no ensino das ciências. Tradução por Marcos Bagno. 1.ed. São Paulo: Edições SM, 2009.

ZABALA, Antoni. **Enfoque globalizador e pensamento complexo**: uma proposta para o currículo escolar. Tradução por Ernani Rosa. Porto Alegre: Artmed, 2002.