

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
INSTITUTO DE FÍSICA
INSTITUTO DE QUÍMICA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

ERIC CAMPOS VIEIRA DE CASTRO

Unificação conceitual: uma proposta epistemológica para a Biologia

São Paulo

2022

ERIC CAMPOS VIEIRA DE CASTRO

Unificação conceitual: uma proposta epistemológica para a Biologia

Versão corrigida

(Versão original encontra-se no Instituto de Física da Universidade de São Paulo)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Biologia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Elena Infante-Malachias.

São Paulo

2022

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.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Castro, Eric Campos Vieira de

Unificação conceitual: uma proposta epistemológica para a Biologia. São Paulo, 2022.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador(a): Prof^a Dr^a María Elena Infante-Malachias.

Área de Concentração: Ensino de Biologia.

Unitermos: 1. Biologia – Estudo e ensino; 2. Conceitos unificadores; 3. Biologia; 4. Epistemologia; 5. Filosofia da Ciência.

USP/IF/SBI-67/2022

CASTRO, Eric Campos Vieira de

Unificação conceitual: uma proposta epistemológica para a Biologia

Dissertação apresentada à Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências, obtido no Programa: Ensino de Ciências; Área de Concentração: Ensino de Biologia.

Aprovado em: 25/11/2022

Banca Examinadora

Profª Drª _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Profª Drª _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

À Luma, filha querida, que sempre me
inspirou com seus olhinhos curiosos.

AGRADECIMENTOS

À Profª María Elena, pelo carinho, compreensão e orientação à minha visão de pesquisa.

À Carol, minha esposa, por conversas intermináveis que me levaram a significativas reflexões.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências e Biologia do Conhecer, pelas críticas e contribuições.

Às Redes Municipais de Ensino das Prefeituras de Santos/SP e Praia Grande/SP, pelo apoio através de dispensa remunerada semanal para a realização do curso.

Saúdo todos os que me lerem,
Tirando-lhes o chapéu largo
Quando me veem à minha porta
Mal a diligência levanta no cimo do outeiro.
Saúdo-os e desejo-lhes sol,
E chuva, quando a chuva é precisa [...]¹

¹ Trecho do poema O Guardador de Rebanhos, de Alberto Caeiro, pseudônimo de Fernando Pessoa (2013, p. 36)

RESUMO

CASTRO, E. C. V. **Unificação conceitual:** uma proposta epistemológica para a Biologia. 2022. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

A unificação (ou a busca por uma visão unificada) do conhecimento em geral e da ciência em particular é tema de investigação há muito tempo. Vários autores chamaram nossa atenção para a dualidade entre a análise e a síntese, entre a decomposição e a recomposição de um sistema. E a história da ciência parece nos mostrar que os métodos analíticos têm prevalecido. Porém, há também aqueles que frequentemente se dispuseram a demonstrar a capacidade heurística de um conhecimento realmente unificado. Neste contexto, alguns desenvolvimentos teóricos acabaram por fornecer ferramentas epistemológicas que nos possibilitaram enxergar, estudar, entender e explicar fenômenos e sistemas complexos em sua totalidade. Trata-se de uma busca intelectual legítima, que se abre a férteis pesquisas e que possui enorme capacidade heurística. E, de fato, muitas tentativas foram realizadas neste sentido; é o caso da *síntese evolutiva* (que tentava integrar as teorias genética e evolutiva) e do positivismo lógico (cujo objetivo era unificar toda a ciência a partir de uma linguagem matemática comum), por exemplo. Há, portanto, propostas de unificação através de *teorias*, de *lógica* e mesmo de *causas* (como a fornecida por Ernst Mayr, com suas duas biologias: *funcional* e *evolutiva*). Trago, nesta pesquisa, uma proposta diferente para unificação da Biologia: uma unificação conceitual. Defendo que a unificação da Biologia poderia ser alcançada através de uma rede conceitual realizada por conceitos de uma classe especial: os *unificadores* e os *condicionais*. Os conceitos unificadores que proponho para a Biologia são: *evolução*, *autopoiese* e *ritmos biológicos*. Cada um destes é acompanhado de seus conceitos condicionais, que lhes fornecem os limites e os instrumentalizam. Desta forma, os conceitos condicionais da evolução seriam a *seleção natural* e a *descendência comum*. Os conceitos condicionais da autopoiese são: *auto-organização*, *clausura operacional* e *acoplamento estrutural*. E, finalmente, os conceitos condicionais dos ritmos biológicos: *relógio biológico* e *acoplamento rítmico*. Tal rede conceitual forneceria uma heurística poderosa para a Biologia, permitindo uma visão unificada do mundo vivo. Para tanto, desenvolvi critérios que podem ser usados na busca por conceitos unificadores: *dialogicidade*, *necessidade*, *universalidade*, *especificidade* e *heurística*. Os conceitos, originados e organizados em epistemologias biológicas, somente serão ditos unificadores caso obedeçam aos critérios estabelecidos.

Palavras-chave: Conceitos unificadores. Biologia. Epistemologia. Filosofia da Ciência.

ABSTRACT

CASTRO, E. C. V. **Conceptual unification:** an epistemological proposal for Biology. 2022. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The unification (or the search for a unified view) of knowledge in general and of science in particular has been a subject of investigation for a long time. Several authors have drawn our attention to the duality between analysis and synthesis, between decomposition and recomposition of a system. And the history of science seems to show us that analytical methods have prevailed. However, there are also those who were often willing to demonstrate the heuristic capacity of a truly unified knowledge. In this context, some theoretical developments provided us with epistemological tools that enabled us to see, study, understand and explain complex phenomena and systems in their entirety. It is a legitimate intellectual search, which is open to fertile research and which has enormous heuristic capacity. Indeed, many attempts have been made in this direction; this is the case of evolutionary synthesis (which tried to integrate genetic and evolutionary theories) and logical positivism (whose objective was to unify all science from a common mathematical language), for example. There are, therefore, proposals for unification through theories, logic and even causes (such as that provided by Ernst Mayr, with his two biologies: functional and evolutionary). I bring, in this research, a different proposal for the unification of Biology: a conceptual unification. I argue that the unification of Biology could be achieved through a conceptual network realized by concepts of a special class: the unifiers and the conditionals. The unifying concepts I propose for Biology are: evolution, autopoiesis and biological rhythms. Each of these is accompanied by its conditional concepts, which provide them with limits and instrumentalize them. In this way, the conditional concepts of evolution would be natural selection and common descent. The conditional concepts of autopoiesis are: self-organization, operational closure and structural coupling. And finally, the conditional concepts of biological rhythms: biological clock and rhythmic coupling. Such a conceptual network would provide a powerful heuristic for Biology, allowing for a unified view of the living world. To this end, I developed criteria that can be used in the search for unifying concepts: dialogicity, necessity, universality, specificity and heuristics. The concepts, originated and organized in biological epistemologies, will only be called unifying if they obey the established criteria.

Keywords: Unifying concepts. Biology. Epistemology. Philosophy of Science.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	13
INTRODUÇÃO	15
1 UNIFICAÇÃO	18
1.1 O SONHO DA UNIFICAÇÃO.....	18
1.2 UNIFICAÇÃO LÓGICA.....	21
1.3 UNIFICAÇÃO TEÓRICA.....	23
1.4 UNIFICAÇÃO CAUSAL.....	27
1.5 FRAGMENTAÇÃO.....	28
2 CONCEITOS UNIFICADORES	31
2.1 O RESGATE DO TODO.....	31
2.2 CONCEITOS: ENFIM, A AUTONOMIA DA BIOLOGIA?.....	33
2.3 UNIFICAÇÃO CONCEITUAL.....	38
2.3.1 Evolução: a vida bifurca	40
2.3.2 Autopoiese: a vida se fabrica	42
2.3.3 Ritmos biológicos: a vida é cíclica	43
3 CARACTERIZAÇÃO DOS CONCEITOS UNIFICADORES	45
3.1 O QUE É, AFINAL, UM CONCEITO UNIFICADOR?.....	45
3.2 CRITÉRIOS PARA O ESTABELECIMENTO DE CONCEITOS UNIFICADORES.....	48
3.2.1 Dialogicidade	48
3.2.1.1 A dialogicidade da evolução.....	48
3.2.1.2 A dialogicidade da autopoiese.....	49
3.2.1.3 A dialogicidade dos ritmos biológicos.....	51
3.2.2 Necessidade	52
3.2.2.1 A necessidade da evolução.....	52
3.2.2.2 A necessidade da autopoiese.....	53
3.2.2.3 A necessidade dos ritmos biológicos.....	53
3.2.3 Universalidade	54
3.2.3.1 A universalidade da evolução.....	54
3.2.3.2 A universalidade da autopoiese.....	55
3.2.3.3 A universalidade dos ritmos biológicos.....	56
3.2.4 Especificidade	56
3.2.4.1 A especificidade da evolução.....	57

3.2.4.2 A especificidade da autopoiese.....	58
3.2.4.3 A especificidade dos ritmos biológicos.....	58
3.2.5 Heurística.....	59
3.2.5.1 A heurística da evolução.....	60
3.2.5.2 A heurística da autopoiese.....	60
3.2.5.3 A heurística dos ritmos biológicos.....	61
4 REDES CONCEITUAIS.....	63
4.1 REDES DE 1ª ORDEM.....	64
4.1.1 Evolução: seleção natural e descendência comum.....	64
4.1.2 Autopoiese: auto-organização, clausura operacional e acoplamento estrutural.....	65
4.1.3 Ritmos biológicos: relógio biológico e acoplamento rítmico.....	65
4.2 REDES DE 2ª ORDEM.....	66
5 CONTRAPONTO E PERSPECTIVAS.....	67
5.1 A CRÍTICA DO REDUACIONISMO.....	67
5.2 A BIOLOGIA COMO SISTEMA CONCEITUAL UNIFICADO.....	69
5.3 O POTENCIAL PEDAGÓGICO DOS CONCEITOS UNIFICADORES.....	71
REFERÊNCIAS.....	73

APRESENTAÇÃO

Desde muito cedo, em meus estudos na graduação, o conceito de evolução me atraiu muito e eu sentia que havia algo especial nele: provavelmente uma ontologia única para o mundo vivo. E, embora esse sentimento fosse muito presente e quase que irrefutável para mim, parecia-me muito curioso (e hoje, posso garantir, bastante criticável) que, em sua grande maioria, as disciplinas disponíveis em meu curso de graduação simplesmente não abordassem o tema evolução (ou, ainda, o abordassem de maneira muito superficial). Tive a sorte, porém, de cursar algumas poucas disciplinas à época que reforçaram meu interesse e minha intuição de que aquele conceito era não só pertinente, mas necessário e fundamental para a Biologia.

A partir de então, alimentei cada vez mais essa paixão pelo tema e, conforme me aprofundava em seu estudo, também esbarrava constantemente com a ideia de unificação da Biologia. E uma grande inspiração para mim foi a reflexão que passei a fazer a respeito da célebre frase de Dobzhansky: “nothing in biology makes sense except in the light of evolution” (DOBZHANSKY, 1973).

Adicionalmente, em algumas outras ocasiões encontrei menções sobre uma desejada unificação das ciências. Uma delas, que vale a pena mencionar (e que acabou por, de certa maneira, ‘dar nome’ àquilo que buscava) foi o trabalho do Profº José André Peres Angotti (1994). Em sua tese de doutorado, Angotti (1991) propõe que se estabeleça e que se use no ensino de Física o que ele chamou de conceitos unificadores.

À época (entre 2007 e 2009) eu cursava o mestrado no Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina e o Profº Angotti ministrou uma disciplina sobre epistemologia. Eu era orientado por outra professora e meu projeto ainda estava nos primeiros esboços.

E conforme as discussões ocorriam nas aulas (em especial as do Profº Angotti), comecei, então, a imaginar outras possibilidades (para além da Física e do ensino de Física) para os conceitos unificadores. Na condição de biólogo, perguntava-me se seria profícuo (e possível) estabelecer conceitos unificadores para a Biologia. E então, imediatamente, cheguei à óbvia (ao menos para mim, naquele contexto) conclusão de que este conceito seria o de evolução.

No entanto, percebi rapidamente que, embora muitos insistissem frequentemente sobre essa característica unificadora da evolução para a Biologia, era algo que ainda carecia de uma justificação mais criteriosa. Passei a perseguir uma formulação de critérios para categorizar conceitos unificadores. Meu projeto, então, foi transformado. Porém, por volta de 2009,

quando já havia concluído todos os créditos de disciplinas e inclusive qualificado o relatório da pesquisa, por problemas pessoais precisei deixar Florianópolis e voltar para Santos, minha terra natal. Muitos anos se passaram; e ao longo deles casei-me, formei uma família e me tornei professor nas redes públicas municipais de Santos e Praia Grande.

Após, portanto, alguns anos fora da academia, sentia-me pronto e excitado com a ideia de voltar a estudar e pesquisar. Foi, então, que participei da seleção para o curso de mestrado do Programa de Pós-graduação do IB-USP. Nessa época eu já havia desenvolvido razoavelmente minhas ideias a respeito dos conceitos unificadores, a ponto de já haver elaborado critérios e de propor outros conceitos, além da evolução. Não passei na prova de conhecimentos específicos da seleção. Porém, para minha grata surpresa, a professora que eu havia indicado como possível orientadora (Prof^a Maria Elice de Brzezinski Prestes) me enviou um email perguntando se eu gostaria de me encontrar com ela para falarmos sobre meu projeto. Fui, assim, ao seu encontro; e, muito gentilmente, a professora me indagou sobre minha pesquisa e acenou com o interesse em me orientar desde que realizasse alguns ajustes na abordagem (já que sua área é a da História da Ciência e meu trabalho se aproximaria mais da Filosofia da Ciência) e, claro, fosse aprovado em uma nova edição do processo seletivo do Programa.

Porém, ao final de nossa conversa, a Prof^a Maria Elice me disse duas coisas muito importantes, que acabaram por reorientar meus caminhos e às quais hoje sou muito grato. Ela me disse que, se eu era docente e desejava continuar na carreira, em especial no ensino superior, que deveria considerar ingressar em um curso de pós-graduação ligado à educação ou ao ensino. E disse também que, caso eu quisesse manter a abordagem epistemológica que dava à minha pesquisa, ela teria a pessoa ideal para me sugerir como orientadora: a Prof^a María Elena Infante-Malachias.

Esses conselhos mudaram meus focos e, em pouco tempo, já havia me comunicado e consultado a Prof^a María Elena sobre uma possível orientação. Conheci-a pessoalmente em uma defesa de um de seus orientandos. E, após uma breve conversa, ela me incluiu em seu grupo de pesquisa e passou a me ajudar até o dia em que, finalmente, ingressei no PIEC-USP.

De volta à academia, passei, então, a desenvolver minha pesquisa no sentido de aprofundar os critérios e de propor novos conceitos unificadores. E toda essa minha deriva me trouxe à pesquisa que ora se apresenta, de maneira ainda parcial: uma proposta teórica de unificação da Biologia, realizada por uma rede conceitual formada por classes muito especiais de conceitos: os unificadores e os condicionais.

INTRODUÇÃO

Parece haver alguma resistência, entre muitos cientistas, em admitir que buscam a beleza. A estética, em especial a estética do conhecimento, tem sido negligenciada pela maioria dos pesquisadores. Mas não é a forma tão importante e fundamental quanto o conteúdo? Ela (a forma) não é parte integrante indissociável do todo. E, mais do que isso, a busca pelo prazer e pela beleza em tudo que fazemos não é tão legítima quanto universal, tal como já afirmava Epicuro em IV a.C.?

Para um bom entendimento sobre qualquer coisa, devemos atentar tanto para suas formas quanto para seus conteúdos. Somente assim uma visão integral do sistema que observamos poderá ser formada. Ao longo de sua história, o ser humano desenvolveu diversas maneiras de enxergar o mundo e contar histórias sobre ele: a mitologia, a religião, a arte, a filosofia e a ciência são casos paradigmáticos. É curioso notar que, se tivéssemos que escolher quais dessas encerra, à primeira vista, a maneira menos atraente, menos criativa e menos bela de enxergar a natureza, provavelmente apontaríamos todos para a ciência. Mas será, mesmo, que precisa ser assim? Ou melhor, será que é assim? A ciência é necessariamente árida e analítica, buscando única e diligentemente as decomposições infinitas dos sistemas, até que nada sobre? Ou será que há espaço na ciência para a apreciação, para o *insight*; enfim, para a contemplação e compreensão do todo, para o alcance de uma heurística satisfatória?

A ciência é, como já dito, uma forma de enxergar o mundo. E, como tal, possui em sua estrutura conceitos que lhe são caros e que lhe fornecem identidade. Estes conceitos são cunhados, desenvolvidos, testados (teórica e empiricamente), reelaborados, abandonados etc. por cientistas e por filósofos. São, sem dúvida, fundamentais para a própria existência da ciência.

Quando elaborados dentro de estruturas teóricas altamente sofisticadas, como o são as epistemologias que muitos pensadores criaram, tais conceitos parecem possuir a grande capacidade de integrar, sob seu domínio, a enorme diversidade de outros conceitos, fenômenos e explicações científicas. Em outras palavras, alguns conceitos, desde que selecionados criteriosamente, podem fornecer a um dado campo do pensamento humano ou a uma área da ciência coesão, coerência e heurística, dificilmente alcançadas de outra forma.

No caso particular da Biologia, conceitos capazes de lidar com a imensa diversidade de fenômenos e sistemas biológicos, capazes de explicar a organização e a estrutura de todas as formas vivas, são, de fato, perseguidos ao longo da história da ciência. Tais conceitos resultariam em uma síntese do mundo vivo, uma visão elegante e altamente heurística da vida.

Em vista disso, algumas questões se impõem: Os conceitos unificadores podem, de fato, fornecer maior heurística e unificação à Biologia? Se sim, quais seriam, afinal, estes conceitos? Em que contexto (dentro de quais epistemologias) estes conceitos surgem? Como poderiam ser escolhidos/selecionados? Haveria critérios seguros segundo os quais poderíamos classificar conceitos como unificadores? Quais seriam estes critérios?

A pergunta de pesquisa que se foi construindo se baseou em uma forte perspectiva unificada a partir de conceitos muito fundamentais e, assim, estabeleceu os contornos de uma verdadeira heurística para a Biologia. Desta forma, apresenta-se assim: *O que caracteriza a Biologia como uma ciência unificada?* E a hipótese que responderia a esta questão e que pretendo investigar aqui está relacionada ao estabelecimento e às relações existentes entre *conceitos unificadores*.

A pesquisa aqui desenvolvida se configura como um trabalho teórico qualitativo. Trata-se de uma tese metalinguística. Pois é uma proposta que se refere à estrutura epistemológica e conceitual da Biologia. E dois importantes autores inspiraram a abordagem conceitual aqui desenvolvida: Stephen Toulmin e Ernst Mayr.

Em *Human Understanding* (1972), Stephen Toulmin advoga fortemente por uma filosofia baseada na análise da evolução dos conceitos. Para ele, uma história ou uma filosofia dos conceitos equivaleria a uma história ou filosofia do entendimento humano; visto que os conceitos guardam características tanto herdadas quanto culturais, possuem aspectos individuais e sociais e são sensíveis a modificações geográficas e históricas.

Ernst Mayr, em *The growth of biological thought* (1982), por sua vez, sugere que, entre todas as possíveis histórias da Biologia que podem ser escritas, uma das mais profícuas (dadas as particularidades desta ciência) é a *história de problemas*. O autor justifica que os problemas da Biologia persistem ao longo da história e perpassam as diversas teorias e epistemologias e em seguida diz que ele próprio seguirá essa abordagem ao longo do livro.

Considerando que muitos dos problemas descritos por Mayr podem, em sua essência, ser representados por conceitos, e que (como demonstrarei) os conceitos realmente unificadores são respostas a muitos desses problemas, minha opção foi por abordá-los; mas antes de uma forma epistemológica. A história de tais conceitos (em especial sua concepção inicial e o papel que exercem em algumas epistemologias ou teorias) servirá como contexto para uma caracterização epistemológica mais sólida.

1 UNIFICAÇÃO

Reunir ou transformar em uma unidade ou em um todo coerente, fazer convergir para um mesmo fim. Estas são algumas das definições para o termo *unificar*. Na História da Ciência, porém, por diversas razões (epistemológicas e sociológicas, principalmente), unificar quase sempre foi interpretado exclusivamente como sendo o mesmo que tornar uniforme ou semelhante (definição também presente nos dicionários). Obviamente, trata-se de um viés semântico; mas do qual podem-se decorrer erros ontológicos e epistemológicos. Caso alguém tenha uma proposta de unificação para a ciência, é muito importante que defina o significado que se está considerando. Do contrário, a proposta e as possíveis críticas a ela poderão estar a tal ponto desvinculadas, que estas nem mesmo poderão se caracterizar como destinadas àquela.

Tornar uniforme ou semelhante toda uma ciência parece pretender dissimular ou mesmo ignorar toda sua diversidade, todas as suas particularidades; e, de modo algum, esta é a intenção deste trabalho. Adoto aqui, para unificar, o significado de convergir, reorganizar em uma unidade, em um todo coerente. A unificação defendida neste estudo tem o propósito de fundamentalmente destacar o que converge, o que há de comum, de essencial, aquilo que é próprio da organização de uma ciência (em particular da Biologia); enfim, de alcançar uma unidade que, segundo Humberto Maturana (1999, p. 151),

is any entity (concrete or conceptual) separated from a background by a concrete or conceptual operation of distinction. A unity may be treated as an unanalyzable whole endowed with constitutive properties, or as a composite entity with properties as a unity that are specified by its organization and not by the properties of its components.

É a partir desta perspectiva que se deve caminhar pelas próximas páginas. E, caso eu mesmo me desvie por momentos desse percurso, espero contar com críticas e autocríticas capazes de me reconduzir para a conciliação aqui pretendida e evitar dissociações e rupturas indesejadas.

1.1 O SONHO DA UNIFICAÇÃO

“...não compreendes que procuro <aquilo que é> o mesmo em todas essas coisas?” (PLATÃO, 385 a.C., p. 75)

Desde a Grécia Antiga, quando a ciência ainda dava os primeiros passos, os pensadores têm buscado, de uma forma ou de outra, algum sentimento muito sutil (embora muitos o tenham explicitado) de unidade para a ciência. De fato, a própria existência da ciência depende, em certo grau, da potencialidade para se gerar, em seu interior, alguma unidade. Como argumenta Alan Chalmers, em *O que é ciência, afinal?* (1993), as ciências são conceitualmente estruturadas. E é justamente esta uma de suas principais características; que lhes fornece poder heurístico e consistência. Tais propriedades se dão pelo fato de os conceitos estarem inseridos em uma estrutura mais coerente, ou em um contexto que lhes destaca. Esta estrutura (ou este contexto) pode ser entendida como a própria disciplina científica, ou o conjunto de teorias que dela fazem parte; ou ainda as epistemologias criadas dentro de um dado campo do saber.

Já na década de 20 do século passado, no segundo volume de *The great ideas: a syntopicon of the great books of the western world* (1923), parte integrante da *Encyclopaedia Britannica*, há um destaque, no verbete 96 (p. 957), para o par temático *Universal e Particular*, demonstrando sua importância histórica nas ciências. De fato, não somente àquela época, mas também ainda hoje, este é um tema recorrente e fundamental nas discussões, argumentações e explicações científicas. Em determinadas épocas da história das ciências verificamos um apreço e foco maiores nas particularidades. Porém, sempre foi possível identificar como parte essencial, como uma propriedade fundamental das práticas científicas a busca por universais.

O ser humano tem se esforçado para explicar a maior quantidade possível de fenômenos naturais a partir do menor número possível de princípios. Assim (e citando somente aqueles que a nós chegaram com mais facilidade), os filósofos jônios (como Thales, Anaximandro e Anaxímenes) buscavam como uma unificação de suas explicações o conceito de causa última, que poderia ser aplicado a todos os processos naturais (MAYR, 1982); e que tanto os originava como os justificava. Ainda na Grécia Antiga, Empédocles postulava que tudo no universo era derivado de quatro substâncias fundamentais: água, fogo, ar e terra. Temas duais (HOLTON, 1988), tais como transformação/permanência também aparecem recorrentemente na história da ciência; e têm sua origem formal, muito provavelmente, nas ideias de Heráclito (“tudo se transforma”) e de Demócrito, que afirma que tudo é composto, em última instância, de partículas indivisíveis. Em todos estes casos verificamos a tentativa de explicar toda a diversidade de formas e complexidade do mundo a partir de alguns poucos princípios ou conceitos.

Em *Wholeness and the implicate order* David Bohm afirma que "man has always been seeking wholeness – mental, physical, social, individual."² (BOHM, 1980, p. 3). Bohm argumenta que a construção das maiores e mais importantes teorias científicas relacionam-se a visões integrais do mundo, apreendidas em verdadeiros *insights*. Para ele, nossa forma de pensar está diretamente relacionada à nossa maneira de enxergar o mundo e esta é organizada fundamentalmente por *insights*. Tais apreensões (através de insights) do mundo poderiam ser caracterizadas como verdadeiras teorias, pois captam a realidade dos fenômenos em sua totalidade.

Além daquelas ideias gregas, já no século XVII, Descartes (1637) consolidou a ideia de mecanização do mundo. Para ele, o mundo natural seria um análogo de uma máquina, cuja linguagem fundamental seria a da Matemática. Desta concepção decorre a confiança em uma previsibilidade e um determinismo que marcou fortemente o caráter das ciências por séculos.

Em muitos aspectos estas ideias mecanicistas eram simpáticas, principalmente porque forneciam uma unificação para a ciência, ao mesmo tempo que negavam o vitalismo e buscavam, na natureza, as explicações dos fenômenos naturais. Porém, a quase obsessão de Descartes por matematizar todo o universo, embora tenha tido consequências positivas para o estabelecimento da Física moderna, demonstrou-se um completo desastre para a ciência dos sistemas e fenômenos biológicos (MAYR, 1982). De fato, a descrição mecanicista do mundo impossibilitava que a Biologia se destacasse do restante das ciências naturais. Ao se considerar tudo no universo como devendo sua existência única e simplesmente a leis físicas mecânicas, impedia-se que se identificasse qualquer diferencial que merecesse atenção especial no mundo orgânico.

Com efeito, esta foi a visão predominante da ciência durante muito tempo; e resquícios permanecem até hoje. Claramente, ao menos para o conhecimento da Física, por muito tempo esta era uma abordagem não só satisfatória como adequada, no sentido de que se demonstrava fértil e garantia alguma unidade à ciência. Porém, a visão mecanicista dificultava, justamente, o estabelecimento de uma identidade e uma unificação em um todo coerente na Biologia.

De qualquer forma, aquele antigo sentimento de totalidade levou muitos, ao longo da história e em diversas áreas, a buscarem uma unificação para a ciência. Tal busca, porém, demonstrou-se epistemológica e metodologicamente diversa. Alguns tentaram uma unificação lógica, como foi o caso de Descartes (1637) e do Círculo de Viena, cuja obra fundamental é a *International Encyclopedia of Unified Science* (1955). Seus esforços se deram no sentido de

² “o homem sempre buscou a totalidade - mental, física, social, individual”. (Tradução minha).

argumentar em favor de uma linguagem (lógica) única para a ciência: a linguagem matemática.

Outros, porém, objetivaram para a ciência uma unificação teórica; empreendimento realizado, no âmbito da Biologia, por Huxley (1948), Dobzhansky (1973) e Mayr (1982), entre outros; cujos esforços levaram à *teoria sintética da evolução*, que objetivava organizar em uma única concepção os conceitos e proposições tanto da genética quanto da teoria darwinista da evolução. Há, ainda, os esforços para se atingir a tão sonhada *teoria de tudo*, que uniria, em uma única estrutura teórica, todas as principais teorias da Física (HAWKING, 2005).

Ernst Mayr também propôs o que aqui considero uma outra classe de unificação: a unificação causal. Em sua célebre obra *The growth of biological thought*, Mayr (1982) desenvolve a ideia de que a Biologia poderia ser entendida a partir das *causas* relacionadas aos fenômenos biológicos. Desta forma, postulou a existência de duas biologias: uma biologia funcional e uma biologia evolutiva; relacionadas diretamente à classe de causas de que tratam.

Ao contrário do que possa parecer, porém, o reconhecimento de “duas biologias” não se configura em uma fissão da ciência dos seres vivos. O próprio Mayr adverte que, qualquer que seja o fenômeno biológico, ele deverá ser entendido como obedecendo tanto a causas remotas (biologia evolutiva) quanto a causas próximas (biologia funcional). Trata-se, portanto, de uma genuína tentativa de unificação e não de separação.

De maneira diferente do que ocorre nas duas outras classes de unificação, porém, a unificação causal parece ser uma proposta adequada exclusivamente à Biologia, devido à própria identidade desta ciência. O filósofo Robert Brandon, em um artigo denominado *Does biology have laws?* (1997), questiona mesmo a possibilidade de a Biologia possuir qualquer lei (nos moldes das leis físicas). Seu principal argumento é o de que a Biologia busca regularidades contingentes nos seus objetos de estudo, em lugar de leis gerais (como faria a Física). E isso ocorre devido à própria natureza contingente do mundo vivo; ou seja, os sistemas biológicos são essencialmente contingentes. Este fato não enfraquece, segundo Brandon, o argumento em favor da autonomia da Biologia como ciência; somente a diferencia das outras ciências naturais. Porém, para que se pudesse falar em uma ciência da vida, alguns desdobramentos (mais efetivamente epistemológicos e conceituais do que empíricos) ainda deveriam ocorrer.

Embora o termo *biologia* remonte à história recente, sua unificação e, portanto, seu estabelecimento definitivo, foram efetivados somente algumas décadas após sua postulação. Assim, a história da Biologia se mostra essencialmente diferente da história da Física.

Enquanto esta, de certa maneira, surge (e é possibilitada) justamente no momento da emergência de conceitos unificadores (como a mecânica, à época de Descartes), a Biologia recebeu um nome, mas esperou ainda para ser uma ciência aceita. Esta aceitação estava sujeita a uma condição ainda não preenchida pela Biologia: a identificação daquilo que confere unidade a esta ciência; que poderia fornecer-lhe coerência e coesão³. Este é, portanto, um trabalho ainda a ser realizado.

Finalmente, e na tentativa de formalizar alguma categorização a respeito dos movimentos (intencionais ou não) em busca de unificação da ciência, podemos identificar três classes de unificação: 1. a *lógica*, exemplificada pelos esforços de Descartes (1637) e do Círculo de Viena (NEURATH & CARNAP, 1955); 2. a *teórica*, cujo exemplo emblemático, no âmbito da Biologia, é a teoria sintética da evolução e; 3. a *causal*, fornecida pela proposta de entendimento da Biologia a partir de suas causas, empreendida por Ernst Mayr (1982).

1.2 UNIFICAÇÃO LÓGICA

The great book of nature is written in mathematical language⁴ (Galileu Galilei, 1564 - 1642).

O principal objetivo deste item é demonstrar que ocorreu, de fato, uma tentativa de se unificar, através da lógica, a ciência. Minha argumentação seguirá fornecendo um panorama das principais ideias do positivismo lógico e do Círculo de Viena, com o objetivo de caracterizar o que estou chamando de *unificação lógica*. Em seguida, apontarei algumas dificuldades neste tipo de abordagem da ciência (embora seja um argumento um tanto quanto retórico, uma vez que outros de maior envergadura já o fizeram brilhantemente). Seguem alguns comentários preliminares.

Um dos empreendimentos mais ambiciosos da Filosofia da Ciência foi o movimento conhecido como positivismo lógico, cuja instituição símbolo a se destacar é o chamado Círculo de Viena (NEURATH & CARNAP, 1955). Esta escola filosófica defendia a adoção da linguagem matemática na construção e na representação das teorias científicas. E iam além: para os adeptos mais radicais do positivismo lógico, sequer pode ser chamada de científica uma teoria que não pode ser traduzida ou simbolizada em linguagem matemática. A ambição,

³ Este assunto será mais minuciosamente desenvolvido ao longo da dissertação. Porém, antes, seria conveniente mostrar alguns caminhos percorridos pelo estudo dos seres vivos até que se chegasse à ciência hoje conhecida como Biologia.

⁴ “O grande livro da natureza está escrito em linguagem matemática” (Tradução minha).

portanto, referia-se a caracterizar a ciência como sendo devida a uma linguagem comum: a Matemática. Com efeito, esta foi a visão predominante da ciência durante muito tempo; e resquícios permanecem até hoje.

Para essas ideias contribuíram significativamente Galileu Galilei (1564 - 1642) e René Descartes (1596-1650). E foi exatamente com este último que a ideia de que o mundo é um análogo de uma máquina (DESCARTES, 1637) teve sua culminância. Descartes defendia que o grande empreendimento da ciência seria o de traduzir, para a linguagem matemática, todos os fenômenos naturais. Tal concepção de ciência foi tão importante que influenciou a consolidação da Física como a “ciência mãe”. Até hoje, denominamos toda uma área do conhecimento (que inclui a Física e a Química) como *Exatas*. Essa denominação está relacionada à previsibilidade (concedida por leis) e à descrição precisa (fornecida pela lógica matemática) que supostamente a ciência deveria apresentar.

Claramente, essa concepção teve muito sucesso em se contrapor ao vitalismo; fornecendo, assim, campo fértil para o desenvolvimento de conhecimento sem a sombra da metafísica. No mecanicismo de Descartes as explicações dos fenômenos naturais deveriam ser encontradas na própria natureza material. E a linguagem que operacionalizaria tudo isso seria a da Matemática, fruto da capacidade racional do ser humano.

O mundo assim descrito permitiria que se pudesse reduzir todo e qualquer fenômeno em um fenômeno físico e todo e qualquer conceito em um conceito matemático. Tal concepção possui, de fato, uma forte coesão, se mantivermo-nos no âmbito dos fenômenos “certos”. Em outras palavras, para alguns fenômenos e problemas a utilização das analogias mecanicistas e das descrições matemáticas mostra-se bastante útil; embora, ainda assim, insuficiente.

Entretanto, ao olharmos mais cuidadosamente para a ciência (e todas as relações que ela estabelece tanto com o mundo quanto com a linguagem), é possível constatar que uma assim pretendida *unificação lógica* demonstrou-se incapaz de lidar com diversos conceitos e problemas, como os relacionados à emergência de propriedades e de fenômenos (tanto biológicos quanto sociais), por exemplo. Tal tentativa também pareceu cega à óbvia dependência que a resposta tem da pergunta que é formulada e do contexto (ou da epistemologia) em que se insere. Não parece mais haver dúvida, hoje em dia, que, como já afirmaram tantos, é um erro atribuir à estrutura lógica o problema fundamental da ciência (MAYR, 1982).

Embora superada (ao menos por enquanto), a ideia de uma unificação lógica foi fundamental na História da Ciência, possibilitando desdobramentos epistemológicos que nos

trouxeram até aqui: até a consolidação da Física, até o Modernismo e o Pós-modernismo, até as teorias críticas e até os pensamentos complexo e sistêmico. Desta forma, tal unificação lógica merece destaque; em especial, por reafirmar aquilo que foi argumentado anteriormente como recorrente no pensamento humano: o ímpeto à unificação, a tentativa de encontrar a unidade, a convergência e a elegância nas explicações científicas.

1.3 UNIFICAÇÃO TEÓRICA

Existe uma outra classe de unificação na ciência que deve ser analisada: trata-se da *unificação teórica*. Podemos identificar, ao longo da história recente, diversos movimentos em busca de uma unificação teórica para a ciência. Alguns deles, inclusive, ocorrem ainda hoje. Embora haja uma quantidade considerável de exemplos de tentativa de unificação teórica, para efeitos de economia, ilustrarei especialmente dois de seus exemplares mais significativos: a integração entre teoria quântica e as forças físicas fundamentais, ocorrida na Física, e a síntese evolutiva, ocorrida na Biologia. Comentarei, também, no caso da Biologia (escopo deste trabalho), o que considero como obstáculos para tal empreendimento.

Provavelmente uma das mais comentadas tentativas de *unificação teórica* da história seja aquela relacionada à integração entre a teoria quântica e as teorias relativas às quatro forças físicas fundamentais: gravidade, eletromagnetismo, força nuclear fraca e força nuclear forte (HAWKING, 2005 e 2010). Este hercúleo empreendimento intelectual ainda se constrói hoje em dia e há tanto aqueles que o desacreditam quanto os que garantem que é algo perfeitamente alcançável. Segundo Lee Smolin (1997, p. 48), “Unification - the discovery that two phenomena which hitherto seemed completely separate have in fact a common origin - is what theoretical physicists, at least most of us, dream of.”

Trata-se, em suma, de organizar em uma única estrutura teórica todas as principais teorias sobre o mundo físico existentes. Para tanto, são necessárias uma quantidade enorme de cálculos, de adaptações conceituais e de adequações linguísticas. E o que parece unicamente uma questão de “aparar as arestas” demonstra-se um problema de muito difícil solução. Para alcançar êxito, esta tarefa de unificação deveria encontrar convergências entre teorias que, em muitos aspectos, parecem dizer o oposto. Surgem problemas relacionados, por exemplo, aos conceitos de gravidade, de tempo, de espaço e de observador; todos fundamentais ao entendimento que possuímos do mundo. E, a depender da teoria considerada, os mesmos conceitos funcionam e são definidos de maneiras bastante diferentes (CHALMERS, 1993; HAWKING, 2010).

Quando olhamos para a Biologia, destaca-se como busca de unificação teórica aquela que ficou conhecida como *síntese evolutiva* (ou teoria sintética da evolução). Trata-se da unificação das teorias da evolução com a da genética mendeliana (HUXLEY, 1948). Participaram deste movimento nomes do porte de Julian Huxley, Theodosius Dobzhansky e Ernst Mayr.

É de Dobzhansky o famoso aforismo “nothing in biology makes sense except in the light of evolution” (DOBZHANSKY, 1973). Huxley, em *Evolution: the modern synthesis* (1948), apresenta as bases daquilo que ele mesmo cunhou como *síntese evolutiva*; à qual Mayr se refere como sendo a solução para diversos mal entendidos no estudo dos seres vivos entre as décadas de 1930 e 1940, resultando em uma verdadeira teoria unificada da evolução (MAYR, 1982). Entretanto, muitos dos autores que se seguiram àqueles concordam que este objetivo, de uma unificação conceitual a partir da síntese evolutiva, não foi totalmente alcançado.

As dificuldades enfrentadas pela *síntese evolutiva* parecem ser semelhantes às aquelas encontradas na tentativa de unificação da Física. Estão relacionadas, especialmente, a duas classes de obstáculos epistemológicos⁵: a *incomensurabilidade* e o *reducionismo*. Enquanto este diz respeito a abandonos e a substituições, a incomensurabilidade se refere à impossibilidade de tradução, de comparação entre todos coerentes, as teorias.

Em *Contra o método*, Paul Feyerabend (1977) argumenta que as teorias são incomensuráveis; ou seja, não há um grau mínimo que possa ser definido para que seja possível qualquer comparação entre teorias. Feyerabend defende que teorias científicas são estruturas que possuem coerência e coesão internas tais que somente em seu interior fazem sentido. Portanto, segundo ele, é inócua qualquer tentativa de comparação ou tradução entre teorias. Da impossibilidade de comparação entre teorias deduz-se a impossibilidade de unificação; pois esta implica algum grau daquela.

Além da incomensurabilidade das teorias, o *reducionismo* é outra classe de obstáculos epistemológicos à unificação teórica. Segundo Mayr (1982) há três subclasses de *reducionismo*: o *constitutivo*, o *explicativo* e o *teórico*.

Algum grau de *reducionismo constitutivo* é (e deve ser) aceito ao se proceder na ciência. Pois não há cientista ou filósofo que coloque em dúvida o fato de que todos os sistemas naturais, por mais complexos que sejam, são constituídos por partes físicas

⁵ Embora Bachelard (2005) não tenha se referido especificamente a estes tipos de dificuldades como obstáculos epistemológicos, utilizo aqui sua conceituação: a de que a dificuldade apresentada se refere à própria condição do conhecimento, mais do que a contingências dadas pelos fenômenos ou objetos estudados.

(BECKERMANN *et al.*, 1992), no sentido de que podem ter uma descrição física e obedecem às leis gerais desta ciência. Pode-se dizer, portanto, que são naturais. Desta forma, o reducionismo constitutivo coloca-se diametralmente oposto ao vitalismo.

Nenhum biólogo negaria que um sistema qualquer, independentemente de suas propriedades e relações biológicas, é também um sistema físico; e, assim, está sujeito a leis físicas (BRANDON, 1997). Negar isto seria colocar os sistemas biológicos à parte da natureza e, invariavelmente, retornar a um vitalismo ou metafísica dos quais a Biologia levou bastante tempo para se desvencilhar. E a negação do vitalismo para a Biologia é fundamental, na medida em que, ao fazê-lo, delimita sua explicação do (e atuação sobre o) mundo natural. Clama para si um status científico que, por vezes, tenta-se dela subtrair. O reducionismo constitutivo é, portanto, um aliado importante na empreitada antivitalista da Biologia.

O reducionismo constitutivo é, na verdade, um princípio ontológico (MAYR, 1982); que permite a apreciação dos fenômenos biológicos sem que se intente inclinar qualquer asserção metafísica a respeito de sua constituição ou funcionamento. Sua discussão ou questionamento posicionar-se-iam, de fato, para além da própria ciência ou da filosofia da ciência. Porque equivaleria a questionar a natureza dos objetos da ciência; objetos estes que, por princípio, são naturais.

Um outro tipo de reducionismo é o explicativo. O reducionismo explicativo é a representação epistemológica por excelência do método de análise. Desta forma, algum grau de reducionismo explicativo também foi (e ainda é) amplamente praticado na ciência. Afinal, a ciência vale-se de análises que, via de regra, levam um todo integrado à redução de suas partes. O reducionismo explicativo consiste exatamente no processo analítico que busca entender o funcionamento das partes de um sistema. É um tipo de reducionismo largamente praticado em diversas áreas, inclusive na Biologia (MAYR, 1982). É uma forma de reducionismo legítima e aceita; porém, constitui ao mesmo tempo uma possibilidade e um obstáculo metodológico.

Torna-se obstáculo quando o sistema “desmontado” pela análise perde muitas de suas características. Este fenômeno é frequentemente encontrado no estudo de sistemas (como é o caso dos biológicos) que demonstram como propriedade inerente a *emergência*: o surgimento de novas características nos níveis hierárquicos superiores (FERNANDEZ, 1991; BOHM, 1992; BAAS, 1994). Obviamente, ao se proceder com a análise das partes, perde-se, assim, a visão momentânea do todo. Porém, este procedimento analítico, e a consequente destruição de algumas propriedades do sistema, parece ser paradoxalmente inevitável para o entendimento do sistema estudado. Afinal, há uma mútua implicação entre diferentes níveis hierárquicos; ou

seja, a existência de um processo em um nível é dependente, em certo grau, da existência de outro processo em um nível hierarquicamente superior ou inferior (SALTHER, 1985; EMMECHE & EL-HANI, 1999).

Sendo assim, em alguns casos o reducionismo explicativo é, mais do que aceitável, bastante útil. O que deve, de fato, ser refutado e rechaçado é o *reducionismo explicativo extremo*, que pressupõe que o estudo das partes e da relação entre elas é suficiente para se entender tudo o que se pode sobre um determinado sistema. Esta, sim, é uma ideia enganosa.

O último tipo de reducionismo citado por Mayr (1982) é o teórico. O reducionismo teórico pressupõe que uma teoria pode ser completamente traduzida, explicada ou incorporada por outra. Para ilustrar a caracterização dessa subclasse de reducionismo, imaginemos a Física e a Biologia. Aplicar o reducionismo teórico, neste caso, seria como assegurar que toda e qualquer explicação ou teoria biológica pode, da mesma forma (ou ainda melhor), ser transformada em uma explicação ou teoria física. Em outras palavras, o reducionismo teórico assegura que as explicações e teorias biológicas são casos especiais de teorias e leis físicas mais gerais e poderosas.

Porém, não é possível defender com boas razões que teorias biológicas possam ser reduzidas a teorias físicas; pois ambas possuem relações e coerência interna de naturezas diferentes (MOREIRA, 2004). Teorias científicas são conjuntos articulados de proposições e explicações (FEYERABEND, 1977), não propriamente os objetos que elas explicam; estes sim, de natureza indubitavelmente física. As teorias, como modelos explicativos, valem-se de conceitos para se justificarem e efetivamente existirem. Mas a condição de existência do próprio conceito é dada por um contexto maior em que se insere; o que garante, também, sua articulação com outros conceitos existentes no mesmo contexto. Como bem acentuou Mayr, citando Beckner: “...processes as meiosis, gastrulation, and preclation are also chemical and physical processes, but they are only biological concepts...”⁶ (MAYR, 1982, p. 62).

Ou seja, os conceitos biológicos só têm sentido em um contexto biológico; e, assim, só se articulam em teorias biológicas. Qualquer tentativa de reduzir um conceito biológico a um conceito físico provavelmente fracassará. Assim, ao contrário do que pode ocorrer quando se procede com o reducionismo explicativo, o reducionismo teórico não preserva o sistema⁷.

Em resumo, ao contrário do reducionismo constitutivo (amplamente aceito, pois assegura que os sistemas biológicos são constituídos por elementos que obedecem às leis

⁶ “...processos tais como meiose, gastrulação e predação são também processos químicos e físicos, mas só biologicamente são conceitos...”. (Tradução minha).

⁷ Retornarei a esta questão no item 5.2, pois considero importante acrescentar, à classificação de Mayr, uma quarta subclasse de reducionismo: o *conceitual* para, em seguida, diferenciá-lo do reducionismo teórico.

físicas) e do reducionismo explicativo (que pressupõe legítimo algum nível de análise das partes com o objetivo de explicar o todo) o reducionismo teórico determina que uma teoria pode ser completamente traduzida, explicada ou incorporada por outra. E isso é negado, entre outras coisas, pela incomensurabilidade e pela constatação de que conceitos, sendo o fundamento das teorias, não podem ser reduzidos a outros conceitos. O reducionismo teórico é, portanto, uma subclasse de reducionismo que deve ser não somente evitada, mas combatida.

1.4 UNIFICAÇÃO CAUSAL

Há, ainda, um outro tipo de unificação que merece destaque. Trata-se da *unificação causal*. No caso específico da Biologia, refiro-me ao desenvolvimento teórico realizado por Ernst Mayr (1982). Ele estabeleceu que existem, de fato, não uma mas duas biologias; que se diferenciariam pela classe de perguntas a serem formuladas dentro de cada uma e pelas causas a que se dedicariam a explicar. Assim, aqueles que trabalham dentro de uma das biologias compartilham, em suas investigações, as mesmas classes de perguntas e, conseqüentemente, as causas que devem explicar. Para Mayr, há a *biologia funcional*, que pretende responder às perguntas do tipo “como?” e a *biologia evolutiva*, que responderia às perguntas sobre o “por quê?” dos fenômenos. Enquanto esta se dedica a explicar as causas remotas (históricas, evolutivas) dos fenômenos biológicos, a biologia funcional se destina à explicação das causas próximas (imediatas, fisiológicas).

Por causas remotas, evolutivas, deve-se ter em mente a relação filogenética entre indivíduos, espécies ou mesmo estruturas, a depender do fenômeno estudado. Desta forma, a elucidação das causas remotas seria a resposta à pergunta: *por que* tal fenômeno ocorre desta maneira e não de outra?⁸ E são as causas remotas que definem o caráter da chamada biologia evolutiva.

Por outro lado, ao considerarmos as causas próximas, imediatas, estamos agindo no âmbito das relações fisiológicas. Pela análise e exposição das causas próximas chegaríamos à resposta da pergunta sobre *como* um determinado fenômeno biológico ocorre. É uma pergunta, fundamentalmente, sobre os mecanismos envolvidos na realização de um fenômeno. Trata-se, portanto, de uma explicação funcional (CAPONI, 2002).

⁸ Perceba que se trata (na visão de Mayr) de uma pergunta na qual já está implícito o mecanismo de seleção, pois pressupõe que haja “caminhos” evolutivos alternativos; que são, a cada momento, selecionados positiva ou negativamente. A resposta a esta classe de perguntas leva, portanto, a uma explicação seletional (CAPONI, 2002).

A distinção entre causas próximas, explicação funcional e biologia funcional por um lado e causas remotas, explicação seletional e biologia evolutiva por outro é, mais do que heurística, um princípio metodológico muito eficiente. Pois delimita o âmbito dentro do qual algumas perguntas e explicações serão admitidas ou mesmo possíveis.

Mayr argumenta que sua demarcação de duas biologias é fundamental e afirma que “much confusion in the history of biology has resulted when authors concentrated exclusively either on proximate or on evolutionary causation”⁹ (MAYR, 1982, p. 72). Como se pode depreender, e embora ele mesmo não expresse nestes termos, parece-me clara uma motivação unificadora em sua proposta; pois redefine os parâmetros explicativos da Biologia de maneira a unir fenômenos que antes estavam separados e eram estudados em contextos e por especialistas diferentes. Chamo a isso de unificação causal, pois o critério para esta unificação é o das causas dos fenômenos. Afinal, ele explicitou convergências entre os interesses cognitivos e os princípios metodológicos de pesquisadores de diversas áreas quando tratam de fenômenos cujas causas se relacionam a uma ou outra biologia.

Concordo com Mayr de que “any biological phenomenon is due to these two independent kinds [proximate and ultimate] of causations”¹⁰ (MAYR, 1982, p. 68). E considero que, embora este não fosse seu objetivo deliberado, ele conseguiu avançar muito em direção à unificação da Biologia com a proposta de duas biologias. Considero, porém, que, se de fato é desejável o estabelecimento de uma ciência mais unificada, que promova uma visão mais integrada, coerente e heurística do mundo vivo, precisamos ainda avançar nos desenvolvimentos teóricos neste sentido. No entanto, precisamos, antes, reconhecer que não se trata de uma tarefa fácil a busca por unificação; em especial em um mundo reconhecidamente fragmentado, tanto ontológica quanto epistemologicamente.

1.5 FRAGMENTAÇÃO

“Attention will be focused on the subtle but crucial role of our general forms of thinking in sustaining fragmentation and in defeating our deepest urges toward wholeness or integrity.”¹¹ (BOHM, 1980, p. 4)

⁹ “muita confusão na história da biologia resultou sempre que autores se concentraram exclusivamente ou na causação próxima ou na evolutiva” (Tradução minha)

¹⁰ “qualquer fenômeno biológico se deve a essas duas classes (próxima e remota) independentes de causação”. (Tradução minha)

¹¹ “A atenção estará focada no papel sutil, mas crucial, de nossas formas gerais de pensamento na sustentação da fragmentação e na derrota de nossos impulsos mais profundos em direção à totalidade ou integridade”. (Tradução minha)

Embora haja, de fato, iniciativas no sentido de uma maior unificação do conhecimento tanto científico quanto escolar, o fato é que ainda vivemos em um mundo fragmentado. Os cientistas são *especialistas* de alguma área e os professores são docentes de uma *disciplina* (que, via de regra, relaciona-se direta ou indiretamente a alguma daquelas áreas de especialização dos cientistas). Esta configuração possibilita uma série de práticas e entendimentos. Porém, impede (verdadeiramente “cega”) um conhecimento mais amplo, para a apreensão da realidade em uma visão de mundo coerente e coesa.

Há, portanto, uma hiperespecialização da ciência em curso há décadas. Já no início da década de 60 do século passado Stephen Toulmin nos chamava a atenção para o fato de que os estudantes “leave school and college remembering of science only tedium and difficulty”¹² (TOULMIN, 1961, p. 10). Toulmin concluiu que as pessoas entendiam menos de ciência à época do que centenas de anos antes. E isso se devia, segundo ele, ao fato de que, no passado, havia a contemplação das principais conclusões e princípios fundamentais da ciência. E que em sua época, até para os cientistas, a ciência havia deixado de ser entendida como um conjunto de princípios e objeto de contemplação. Lembremos que desde a década de 1920 o movimento do positivismo lógico exercia grande influência sobre o pensamento científico e pedagógico. O curioso é que, mais de meio século depois de seu livro, suas constatações (a partir das observações do universo que lhe era familiar: o mundo europeu) são, ainda, pertinentes na maior parte do planeta.

David Bohm é outro autor que denuncia um excesso de fragmentação no pensamento e na pesquisa. Ele afirma que essa forma de proceder é prejudicial, na medida em que se perde a perspectiva da totalidade. Além da fragmentação da pesquisa e do pensamento, Bohm (1980) dirige sua crítica também à aprendizagem; pois, para ele, entendemos, apreendemos a realidade por *insights*. E estes são como que capturas da totalidade das coisas. Sendo assim, a fragmentação (do pensamento, da pesquisa, do mundo) levaria a uma fragmentação do entendimento do mundo. E isso, obviamente, deve ser evitado.

Mais recentemente, um importante pesquisador em educação científica brasileiro, José Angotti, em sua tese de doutorado de 1991 escreveu que se fazia necessário “minimizar a fragmentação do conhecimento das ciências naturais” e que se devia buscar “um saber mais interligado, consistente e sistematizado” (ANGOTTI, 1991, p. 104). Ao prosseguir em sua argumentação, Angotti reclama para o ensino e para a aprendizagem das ciências uma maior unificação. Pois, segundo ele, seria demandado que os estudantes fossem capazes de perceber

¹² “deixam a escola e a faculdade levando como lembrança dificuldades e tédio”. (Tradução minha)

totalidades, no lugar de simplesmente (como, em geral, é feito hoje em dia nas escolas e mesmo em muitas universidades) unir, em momentos posteriores, fragmentos diversos.

Esse excesso de fragmentação (ou hiperespecialização) do mundo leva, inevitavelmente, a uma perda de visão do todo, dos sistemas ou fenômenos em suas totalidades. E essa dificuldade de se enxergar mais holisticamente o mundo, além de possivelmente recrudescer a um reducionismo infértil, é esteticamente indesejável; pois, em se tratando do ato de conhecer, não só em conteúdo, mas também em forma, uma visão fragmentada apresenta-se inviável.

A fragmentação dificulta, por exemplo, que se reconheçam relações intrínsecas na emergência das totalidades. Ao considerarmos, por exemplo, a teoria hierárquica de Stanley Salthe (1985), que determina que a análise de um determinado objeto deve levar em conta tanto os níveis hierarquicamente superiores quanto os inferiores do sistema ao qual ele pertence, concluímos que a fragmentação também nos cega para as implicações causais que existem entre os diversos níveis hierárquicos de um sistema.

Em suma, as comentadas dissociações de uma visão fragmentada, orientada socialmente por uma hiperespecialização da ciência e do ensino, acabam por gerar perdas no entendimento das estruturas, fenômenos e conceitos mais fundamentais dos sistemas que estudamos. O que somente pode ser recuperado com uma visão mais integral e unificada. Visão esta que (pretendo demonstrar) pode ser alcançada através do estabelecimento de conceitos unificadores.

2 CONCEITOS UNIFICADORES

Teci alguns comentários nas seções anteriores com o objetivo de apresentar o problema fundamental do qual se ocupa esta pesquisa: o da unificação na ciência¹³. E para tentar resolvê-lo, gostaria de recapitular alguns pontos fundamentais do caminho percorrido até aqui. Demonstrei que é histórica a busca pela unificação da ciência; e que esta busca particular está relacionada a uma ainda mais antiga e geral, associada à construção das próprias culturas, no estabelecimento de seus mitos e religiões: a busca pela unidade, pela integração do humano com o mundo.

Apontei, então, algumas tentativas de unificação que considero merecerem destaque. Demonstrei que ocorreram tentativas de se unificar toda a ciência a partir de uma linguagem comum. Comentei sobre o esforço, na Física, para se atingir a unificação das forças com a teoria quântica e sobre o movimento pela síntese evolutiva, no campo da Biologia. E destaquei uma importante proposta, empreendida por Ernst Mayr (1982), de entender os fenômenos biológicos como devendo sua realização a duas causas: a próxima e a remota. Argumentei que todas as tentativas de unificação poderiam ser colocadas em categorias: unificação lógica, unificação teórica e unificação causal. E, ao mesmo tempo em que as caracterizei, espero ter esclarecido algo sobre a força e a fraqueza de cada uma.

Em seguida, chamei a atenção para o fato de que hoje, na prática científica (e também na prática pedagógica), a realidade não é a da unificação, mas a da fragmentação. E questionei essa postura, tentando apontar os problemas a ela relacionados.

Chego, assim, no ponto em que começarei a apresentar minha proposta para o problema levantado. Para tanto, preciso, antes, demonstrar que já está em curso um movimento que, embora diverso em vários aspectos, converge esforços em direção à busca por uma visão unificada do mundo, do conhecimento e da ciência; trata-se de um resgate da unidade, do todo.

2.1 O RESGATE DO TODO

É bem verdade que o sentimento de unidade, a busca pelo universal e pelo comum no diverso não são novidades no pensamento humano. Desde muito cedo a humanidade busca um certo “retorno à unidade”. E essa busca foi tradicionalmente realizada pelos mitos e pelas religiões (DAWKINS, 2006). Podemos identificar, em diversos deles, a busca pela comunhão,

¹³ E, a partir daqui, particularmente na Biologia, que é de fato o escopo deste estudo.

um ímpeto pelo “retorno” ao ponto original, a divindade; que só se manifestaria diversa na aparência, pois sua essência sempre foi a mesma e dela todos compartilham (GLEISER, 1997). Ocorre que há uma enorme convergência cognitiva entre essas iniciativas e aquelas desenvolvidas por grande parte dos cientistas e filósofos (GLEISER, 1997).

Assistimos, nas últimas décadas, ao aumento do interesse em (e do número de obras dedicadas a) temas como *pensamento sistêmico e complexo, holismo e heurística* na ciência (CAPRA, 1997). E embora não sejam sinônimos, estes conceitos guardam em comum alguns princípios e métodos bastante fundamentais, tais como a busca por um entendimento mais amplo, completo e não reducionista da realidade, a preferência por uma linguagem sintética (em lugar da analítica, tradicionalmente aplicada na ciência), a inclusão do princípio de integração e do conceito de emergência nas argumentações, explicações e teorias.

Para citar apenas alguns, há os trabalhos de Ilya Prigogine e Isabelle Stengers (2004) e Edgar Morin (1992 e 2005), que contribuíram para o entendimento de que há uma rede altamente complexa de estruturas e relações tanto no mundo dos fenômenos quanto no campo epistemológico; apontando, no entanto, para o fato de que essas estruturas complexas contribuem para a manutenção de sistemas cuja identidade pode ser delimitada. Ou o de Ludwig von Bertalanffy (1968), que forneceu os fundamentos, em uma celebrada obra, para o que chamamos de pensamento sistêmico. Merece destaque, ainda, os desenvolvimentos de David Bohm (1980 e 1992), que demonstrou que até o pensamento pode ser encarado como um sistema. Em seus trabalhos, Bohm questiona nossa capacidade de entender e de captar objetivamente o mundo e demonstra que a própria organização de nosso pensamento é, em grande medida, fechada para o que ocorre no exterior.

Não podemos nos esquecer de Fritjof Capra (1997), de Humberto Maturana (1995) e de Michael Ruse (2013), cujos trabalhos contribuíram sobremaneira para uma mudança no paradigma epistemológico de como entendemos o mundo vivo: de uma perspectiva preponderantemente analítica e frequentemente reducionista para uma visão sintética, coesa e unificada. Finalmente, há que se acrescentar a contribuição de Edgar O. Wilson a esse debate. Em *Consilience: the unity of knowledge*, Edward Wilson (1998) propõe uma forma de encontrar unidade na maneira de enxergar e entender (assim como lidar com) o mundo.

Esse crescente interesse por uma linguagem, uma metodologia e, finalmente, por uma descrição e explicação mais unificada e integral do mundo exigiu grandes esforços intelectuais tanto de cientistas quanto de filósofos. Afinal, é necessário um arcabouço teórico sofisticado para que tais conceitos e princípios sejam, de fato, realizados. Em 1978, Gaston Bachelard (1978, p. 4) dava os limites da filosofia ao dizer que

Mas não se é filósofo se não se tomar consciência, num determinado momento da reflexão, da coerência e da unidade do pensamento, se não se formularem as condições da síntese do saber. E é sempre em função desta unidade, desta coerência, desta síntese, que o filósofo coloca o problema geral do conhecimento.

Ou seja, o problema geral do conhecimento, objeto da epistemologia, está no centro da discussão sobre a unificação da ciência. Sendo assim, a realização de tal empreendimento passa, necessariamente, por desenvolvimentos teóricos, capazes de recolocar a visão que podemos ter dos fenômenos e do mundo em geral.

E esta pesquisa vai ao encontro desse propósito, pois tenta fornecer embasamento epistemológico para o alcance de uma visão mais integral, coesa, coerente e unificada do mundo, em especial do mundo vivo. Defendo, inclusive, que o alcance de uma visão assim desenhada pode embasar proposições de novas metodologias (científicas e pedagógicas) e fornecer uma heurística nova e fértil, fundamentalmente em estudantes de ciências.

2.2 CONCEITOS: ENFIM, A AUTONOMIA DA BIOLOGIA?

A Biologia é uma ciência autônoma? Qual é a identidade da Biologia? Um dos autores que mais se dedicaram a essas questões foi Ernst Mayr. Especificamente sobre elas, Mayr escreveu duas importantes obras: o livro *Biologia, ciência única* (2001) e o artigo *The autonomy of Biology* (2004). Em sua obra prima, *The growth of biological thought* (1982), Mayr já demonstrava grande preocupação em delimitar a Biologia como uma ciência possuidora de uma identidade própria e independente e, portanto, merecedora de um desenvolvimento teórico e de uma abordagem metodológica especiais. Segundo ele, "a philosophy of biology must include a consideration of all major specifically biological concepts..."¹⁴ (MAYR, 1982, p. 76).

Além de Mayr, outros autores, como Robert Brandon (1997), por exemplo, se dedicaram a demonstrar que, ao contrário do que supunham alguns, a Biologia não pode ser reduzida a outras ciências, como, por exemplo, à Física ou à Química. Mesmo pensadores oriundos da Física, como Fritjof Capra, reconheceram a autonomia da Biologia e a especificidade dos fenômenos biológicos (CAPRA, 1997).

¹⁴ "uma filosofia da biologia deve incluir alguma consideração sobre todos os principais conceitos especificamente biológicos". (Tradução minha).

Enquanto Capra encontra no estudo dos sistemas biológicos uma visão unificada (CAPRA, 2014), realizada por uma interconexão indissociável entre os sistemas biológicos (CAPRA, 1997), Brandon argumenta que, ao contrário da Física, que se ocupa de encontrar leis, a Biologia busca regularidades contingentes em seus objetos de estudo. Tanto essa visão de *rede*, fornecida por Capra, quanto o conceito de sistemas contingentes, citado por Brandon, são encontrados com certa frequência nas obras de outros autores ao tratarem da identidade da Biologia.

O termo Biologia, usado para designar o estudo dos seres vivos, data do século XIX. Segundo Mayr (1982), ele foi cunhado por Burdach em 1800 e, independentemente, também por Carl Lineu e por Treviranus, ambos em 1802. Antes disto, o estudo dos seres vivos era praticado em frentes completamente diversas quanto às interpretações e aos métodos de investigação.

Desde muito tempo os homens se interessam pela natureza. E foi comum, ao longo da história e das culturas, encontrarmos a suposição de que tudo na natureza é vivo; uma concepção que, mais tarde, seria chamada de vitalismo. Caracterizações mais precisas do mundo vivo começaram a ser formalmente descritas já na antiga civilização grega. Aristóteles (384-322 a.C.), por exemplo, contribuiu muito para formar algumas bases sobre as quais diversas áreas de investigação biológica puderam se desenvolver posteriormente.

Porém, por um grande período de tempo o estudo dos seres vivos encontrou-se difuso em áreas que pouco convergiam. Mayr (1982) destaca três grandes tradições gregas, que tiveram grande impacto sobre o surgimento futuro de uma única ciência da vida: *História Natural*, *Filosofia e Tradição Biomédica*.

A História Natural ocupava-se, basicamente, da descrição do corpo dos animais e vegetais, de seus usos pelo homem e de seus modos de vida no ambiente doméstico e selvagem. As principais características metodológicas desta tradição eram a descrição e a classificação. Características estas que se tornaram ainda mais urgentes na Idade Média e Renascença, no contexto europeu, com o aumento substancial das coleções botânicas e zoológicas.

A Filosofia, por outro lado, tem sua maior contribuição nas formulações de questões concernentes à vida e às causas naturais dos sistemas biológicos. Porém (e o que foi prejudicial ao surgimento posterior da ciência experimental como um todo), prevalecia a ideia de que seria possível atingir um conhecimento adequado “merely by concentrated thinking

about the respective problem.”¹⁵ (MAYR, 1982, p. 86). Obviamente, esta ideia representava uma barreira ao desenvolvimento da ciência como a entendemos atualmente.

Somente na Idade Média e Renascimento, quando começaram a se desenvolver as experimentações na Europa, possibilitadas pelos avanços tecnológicos na produção de equipamentos, é que a ciência começou a tomar a “face empirista” que veio a demonstrar, de forma acentuada, nas eras Moderna e Contemporânea. A partir de então, a Filosofia estava mais claramente separada da ciência. E o estudo dos seres vivos, essencialmente experimental durante décadas, foi um dos que mais se distanciou da Tradição Filosófica.

Porém, após ter experimentado um longo período de afastamento, a Filosofia voltaria a se aproximar do estudo do mundo vivo em meados do fim do século XVIII e início do século XIX, com os trabalhos relacionados a questões teóricas mais complexas, desenvolvidos por Buffon (1707-1788), Lamarck (1744 - 1829), , Georges Cuvier (1769 - 1832), Etienne Geoffroy de Saint-Hilaire (1772 - 1844), Darwin (1809 - 1882) e Claude Bernard (1813 - 1878). Curiosamente, todos eles tratavam, de uma forma ou de outra, de questões relacionadas, direta ou indiretamente, ao conceito de evolução. O desenvolvimento posterior do que é conhecido hoje como *biologia evolutiva* (MAYR, 1982) foi dependente, em grande medida, de um auxílio inestimável da Filosofia (HULL, 1974; RUSE, 1979; SOBER, 2000; CAPONI, 2007); já que, como um campo fértil de investigações teóricas, a biologia evolutiva se vale largamente da introdução e do desenvolvimento de conceitos (estes, assunto também da Filosofia).

Finalmente, com relação à terceira tradição grega citada, a Tradição Biomédica, as principais atividades estavam relacionadas às práticas médicas da anatomia e da fisiologia. Ao longo de toda a história desta tradição, anterior à alta Idade Média, praticamente nenhuma formalização fora realizada no sentido de comparações entre os corpos de humanos e de outras espécies. O surgimento da anatomia comparada e, portanto, a utilização das técnicas anatômicas em estudos científicos mais formalizados, somente se consolidou com Georges Cuvier, que “demonstrated the absence of any intermediates between the major phyla of animals, thus completely refuting the existence of a scala naturae”¹⁶ (MAYR, 1982). Para Cuvier, a origem dos tipos (ou classes) de seres vivos era discreta (CUVIER, 1840); o que equivale dizer que, segundo ele, não há qualquer processo contínuo que permita explicar o

¹⁵ “meramente através de raciocínio concentrado sobre o respectivo problema.”. (Tradução minha).

¹⁶ “demonstrou a ausência de qualquer intermediário entre os filos superiores de animais, refutando, assim, completamente a existência de uma escala natural”. (Tradução minha).

surgimento de novas espécies a partir de outras pré-existentes. Cuvier era, assim, avesso às ideias evolutivas darwinistas (CAPONI, 2005).

Obviamente, estudos posteriores de anatomia comparada vieram confirmar a existência de uma continuidade do mundo vivo, com transformações sucessivas a partir de estruturas previamente estabelecidas. De fato, a anatomia comparada acabou mostrando-se um fértil campo de investigação biológica; e uma curiosa história envolvendo princípios epistemológicos e metodológicos em torno do estudo anatômico comparado pode ser observada na polêmica gerada por George Cuvier e Etienne Geoffroy de Saint-Hilaire em 1830 (CAPONI, 2006).

De qualquer modo, após a inauguração da anatomia comparada, o estudo biológico ganhou um método adequado ao surgimento posterior de uma ciência mais unificada. Afinal, como muitos autores reconhecem, o método principal da Biologia é o método comparativo. A Biologia é uma ciência da diversidade. E é na comparação da diversidade, com o objetivo de identificação de regularidades, que se encontra uma das particularidades do método biológico.

Ao que tudo indica, até meados de 1800 o mundo vivo era estudado sem que se estabelecessem ligações mais precisas entre a enorme diversidade de seres vivos. Faltavam, de fato, evidências empíricas e conceitos adequados que possibilitassem uma imagem mais unificada do mundo orgânico. Até então, pode-se dizer, havia, de um lado, os naturalistas, ocupados com a descrição e catalogação de plantas e animais e, de outro, aqueles pesquisadores interessados em entender as funções normais e patológicas do organismo humano através de estudos anatômicos e fisiológicos, ambos métodos fundamentalmente empíricos.

Foi, de fato, somente com o maior desenvolvimento do pensamento evolutivo, embrionado por Lamarck (entre 1800 e 1809) e mais ampla e efetivamente desenvolvido por Darwin e por Wallace (já depois da metade do século XIX), que se tornou possível um vislumbre da grande potencialidade da Biologia como uma ciência unificada (MAYR, 1982). Porém, um longo caminho ainda deveria ser percorrido por biólogos e filósofos até que se justificasse e legitimasse perante a comunidade científica em geral a Biologia como uma ciência autônoma.

O principal motivo para isso é que, tal como ocorreu com outras ideias científicas revolucionárias, conceitos evolutivos foram inicialmente rechaçados, para não dizer ridicularizados (DESMOND & MOORE, 1995). E, dentre todas as ideias científicas revolucionárias, a evolução e a seleção natural merecem destaque especial. Segundo muitos autores, as ideias de Darwin, em termos comparativos, figuram entre as mais polêmicas e de

maior impacto em outros campos da atividade humana já elaboradas no seio das ciências (DENNETT, 1995; RUSE, 2008). Sendo assim, produziram uma retaliação à altura do incômodo por elas provocado.

Afinal, as ideias evolutivas (em especial, a de ancestralidade comum) eram inaceitáveis para muitos na época. Foi um longo caminho, desde então, até que se chegasse a um ponto em que virtualmente todos os cientistas aceitassem as premissas evolutivas básicas. Seja como for, e independentemente das discussões geradas (e que produzem frutos até hoje), havia-se chegado, enfim, a ‘algo’ que todo o universo orgânico compartilhava: o parentesco. Tal conclusão conquistou o título de princípio metodológico e epistemológico e permitiu o surgimento de todo um campo de investigação novo, hoje conhecido como biologia evolutiva. Mais do que isso, as ideias darwinistas mudaram para sempre a forma de enxergar o mundo vivo e foram fundamentais para o estabelecimento e a autonomia da Biologia, uma ciência que ainda estava ‘nascendo’.

A partir de então, a evolução tornou-se uma verdadeira amálgama da Biologia. Ou seja, o conceito de evolução se tornou fundamental e indispensável a um razoável entendimento e estudo do mundo vivo (DOBZHANSKY, 1973; MEYER & EL-HANI, 2005); tornou-se, verdadeiramente, um conceito unificador da Biologia. E, embora a grande maioria dos autores concorde que, de fato, a evolução é unificadora da Biologia, nunca ocorreu uma tentativa sistemática, criteriosa e deliberada de se caracterizar este conceito como tal. Na realidade, a maior parte dos movimentos de unificação são exemplares da unificação teórica; pois concentram-se nas teorias. E virtualmente todas as tentativas nesse sentido fracassaram ou foram, no mínimo, incompletas. Algumas críticas a essa classe de unificação já foram tecidas. Porém, é pertinente que se argumente um pouco mais sobre o assunto.

Teorias científicas, via de regra, referem-se a um ou a alguns poucos objetos ou fenômenos naturais. Para que seja possível integrar o conhecimento de diversas áreas e saberes, torna-se necessário o desenvolvimento não de teorias, mas de verdadeiras epistemologias. Pois a epistemologia se configura em toda uma visão de mundo coerente e coesa, a partir da qual se pode tentar explicar todo e qualquer fenômeno que ocorre no campo (ou mundo) considerado. Só epistemologias são capazes de fornecer embasamento para o entendimento e a explicação de todo o universo referentemente delimitado pelo alcance dos conceitos que dela fazem parte.

Conceitos são articulados pela linguagem para explicar um fenômeno. A explicação é, em si, uma teoria; e uma teoria possui diversos conceitos em sua estrutura. Porém, nem todos os conceitos de uma teoria podem ser ditos unificadores. Para tanto, é necessário algum

critério, que os identifique e delimite em relação aos demais conceitos que participam da estrutura das teorias.

É justamente nesse sentido que se segue a argumentação aqui desenvolvida. Pretendo demonstrar que o fundamento e a própria condição de existência das epistemologias são alguns conceitos muito particulares que delas participam. E como as epistemologias pressupõem também alguma cosmovisão, a articulação daqueles conceitos, elaborados nessas epistemologias, poderia levar a um entendimento mais amplo, coerente, profundo e, conseqüentemente, melhor do mundo natural. Tal empreendimento vai ao encontro dos movimentos mais recentes em direção a uma visão mais integral e holística do mundo, do conhecimento e da ciência.

Argumentarei que uma verdadeira heurística, autonomia e unificação da Biologia poderiam ser alcançadas através do estabelecimento de conceitos unificadores. E que estes conceitos, criteriosamente determinados, fornecem exatamente uma estrutura unificada àquela ciência, permitindo tanto uma visão mais integrada, quanto mais coerente, profunda e esteticamente elegante do mundo vivo.

2.3 UNIFICAÇÃO CONCEITUAL

No *Capítulo 1* analisei algumas tentativas históricas de unificação da ciência, como a unificação lógica (cujo elemento unificador seria a linguagem), a unificação teórica (que basicamente pressupõe uma reestruturação de duas ou mais teorias na construção de uma única) e a unificação causal (que teria como fundamento unificador a causa do fenômeno estudado). Minha análise se deu no intuito de caracterizá-las e de utilizá-las como exemplos de propostas honestas (algumas delas relativamente bem sucedidas) de unificação da ciência. Algumas foram abandonadas, outras se constroem ainda hoje. No entanto, não foi meu objetivo, ao citá-las, estabelecer algum julgamento negativo, no sentido de diminuí-las como empreendimento intelectual. Penso que todas se caracterizam por formas genuínas e originais de pensamento e que, mesmo aquelas que não se demonstraram tão férteis, configuram-se como exemplares de uma busca intelectual e estética fundamentalmente humana.

E, embora reconheça a validade daquelas propostas, pretendo, aqui, deixar a minha própria. Considero que a unificação de uma ciência deve ser realizada através do que lhe dá identidade, que encerra aquilo que a ciência tem de mais fundamental, ao mesmo tempo que lhe estabelece os limites. E minha hipótese é de que esse amálgama, capaz de unificar diversas áreas de uma ciência, são os conceitos. Não quaisquer conceitos, mas aqueles que

denomino unificadores. Argumentarei, portanto, em favor de uma *unificação conceitual* da ciência, em especial da Biologia.

Minha hipótese, entre outras inspirações, está orientada fundamentalmente tanto pelos desenvolvimentos teóricos proporcionados por Stephen Toulmin (1961) e Ernst Mayr (1982) quanto pelas críticas formuladas por Paul Feyerabend (1977). Em *Foresight and understanding* (1961), Toulmin estabelece algumas bases para que se argumente sobre a permanência dos conceitos científicos ao longo da história e da evolução da ciência. Alguns conceitos, para Toulmin, são transversais às teorias, sobrevivem a elas. Tal estabilidade conceitual permitiria, a princípio, estabelecer alguma identidade comum para teorias que, sob outros aspectos, são inteiramente diversas; como muito bem nos mostraram Thomas Kuhn (1970), ao falar em revoluções científicas, e Imre Lakatos (1978), que nos esclareceu sobre os programas de pesquisa. Nos dois casos há o que Feyerabend (1977) denomina incomensurabilidade entre as teorias. Se seguíssemos, de fato, por este caminho, uma pretensa unificação da Biologia seria provavelmente fracassada.

Concordo com Feyerabend (1977), quando afirma que as teorias são estruturas coerentes e coesas; e que as explicações e sentidos produzidos em seu interior são parte integrante e indissociável de tal estrutura. Porém, considero que, ainda assim, exista algum grau possível de comparação entre teorias. E defendo que este elemento comparável, que transita entre teorias e ao longo do tempo, são os conceitos (em especial os conceitos unificadores), pois configuram-se na própria identidade e essência das teorias e, mais, das epistemologias às quais aquelas teorias estão associadas.

Consideremos as afirmações de alguns importantes pensadores da ciência, como Alan Chalmers e Ernst Mayr. Chalmers nos diz: "que é somente por meio de uma teoria coerentemente estruturada que os conceitos adquirem um sentido preciso." (CHALMERS, 1993, p. 102). Mayr, por sua vez, afirma que "actually most scientific problems are far better understood by studying their history than their logic"¹⁷ (MAYR, 1982, p. 6) e que "in problematic history the emphasis is on the working scientist and his conceptual world"¹⁸ (p. 7).

A análise destes trechos nos permite inferir que os conceitos desempenham um papel não só essencial, mas potencialmente unificador da ciência; desde que, como veremos adiante, obedeçam a alguns critérios fundamentais. Antes, porém, precisamos nos demorar um pouco

¹⁷ "de fato, a maioria dos problemas científicos é muito melhor entendida através do estudo de sua história do que de sua lógica" (Tradução minha).

¹⁸ "na história dos problemas a ênfase ocorre no trabalho do cientista e em seu universo conceitual" (Tradução minha).

mais na apreciação sobre os próprios conceitos. Afinal, lancei a hipótese de que conceitos podem, de fato, ser unificadores de uma ciência, em particular da Biologia. Porém, claramente não são todos os conceitos que merecem o título de unificadores. Se é assim, cabe perguntar: quais seriam, então, esses conceitos? Em outras palavras, que conceitos seriam bons candidatos a unificadores da Biologia? Ou ainda, que conceitos devem ser submetidos aos critérios que serão desenvolvidos, para que lhes seja testada a potencialidade unificadora para a Biologia?

Eu tenho algumas sugestões. E, sem dúvida, a primeira delas encontra eco em virtualmente todos os pensadores da Biologia: o conceito de *evolução*. Outros conceitos também podem ser destacados por sua potencialidade unificadora na Biologia. São eles: *autopoiese* e *ritmos biológicos*. Estes conceitos, embora não gozem da quase unanimidade da evolução, mostram-se potenciais candidatos a unificadores por variadas razões, que serão apresentadas nas próximas seções desta pesquisa.

Tal apresentação dos conceitos nas seções 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3 será breve, pois inicialmente eles serão tratados exclusivamente como hipóteses, somente como candidatos iniciais a conceitos unificadores da Biologia. As argumentações mais detalhadas serão deixadas para o Capítulo 3, onde irei caracterizar mais propriamente o que entendo ser um conceito unificador e desenvolver os critérios necessários para que um conceito seja assim denominado; além de submeter os conceitos indicados a tais critérios.

2.3.1 Evolução: a vida bifurca

O termo *evolução*, aplicado assim, de forma isolada, pode gerar alguma confusão. Em geral, ninguém se negaria a afirmar que *evolução* tem a ver com mudança. Ou seja, o componente temporal da *evolução* parece estar bem sedimentado no conhecimento, mesmo popular. Porém, os consensos aparentemente param por aí. Encontramos quem associe o conceito de *evolução* à ideia de progresso, de melhora, de revolução etc. Há, também, quem o aplique igualmente tanto a seres vivos quanto a sistemas não vivos. Dada a polissemia do uso geral do termo, é útil, desde já, que se estabeleça uma definição mais clara. No estudo aqui delimitado, utilizo a seguinte definição muito geral de *evolução*: sobrevivência e reprodução diferencial de classes de sistemas biológicos que se modificam ao longo do tempo.

Charles Darwin não foi o primeiro a usar o termo *evolução*. Mas, sem dúvida, lapidou a essência do conceito para a Biologia. Sua vasta obra deixou um legado muito maior do que uma simples teoria. Darwin construiu, de fato, uma verdadeira epistemologia biológica: uma

forma de conhecer o mundo (DESMOND & MOORE, 1995). E, ao fazê-lo, mudou também o mundo.

Na formulação de sua teoria, Darwin considerou fundamentalmente as ideias de Jean-Baptiste de Lamarck, sobre modificações das espécies, e de Charles Lyell, sobre luta por recursos ambientais e sobre o impacto das modificações ambientais sobre o modo de vida dos seres vivos (DARWIN, 1872). A leitura de Lamarck inspirou-o a formular o conceito de descendência comum e em Lyell se inspirou para propor a seleção natural.

Com suas ideias Darwin realizou uma verdadeira ruptura epistemológica (BACHELARD, 2006). Pois trata-se de uma profunda mudança no foco da explicação. Antes dele, por exemplo em Lamarck (MARTINS, 2013), utilizava-se o padrão histórico das transformações nos seres vivos como pano de fundo para se confirmar o princípio de progressão.

Portanto, e aplicando um rico instrumento de análise epistemológica, fornecido por Stephen Toulmin (1961), poderíamos dizer que o *Ideal de Ordem Natural* (ION) de Darwin era o fixismo e a origem independente das espécies¹⁹. Essas ideias, inclusive, foram defendidas por Darwin por muito tempo (DESMOND & MOORE, 1995). Fundamentavam, afinal, o estado natural das coisas no que se referia ao conhecimento do mundo vivo.

Darwin muda o foco para explicar justamente as transformações; e, para isso, fornece o processo de seleção natural. Demonstra, com isso, que o que merece (deve) ser explicado e contextualizado é justamente a transformação. E, desta forma, fornece os limites de sua epistemologia do mundo vivo. Darwin entendia a diversidade da vida como a questão a ser respondida, pois todos os seus estudos levaram-no a crer que tamanha variedade de formas vivas contrariava a ordem esperada, que seria a manutenção da forma primitiva.

Portanto, e conforme avançava em sua pesquisa, Darwin precisou formular sua pergunta a respeito do que ele mesmo chamou de “endless forms”²⁰ (DARWIN, 1872, p. 429), tendo como pano de fundo seu ION: a origem independente das espécies e a ideia de que, embora ocorressem pequenas modificações nos indivíduos, as espécies, como uma classe, seriam formas fixas. O que veio a seguir foi uma verdadeira revolução, que levou a toda sorte de situações: inspirou tanto admiração quanto ódio e repulsa, provocou debates e até brigas

¹⁹ O ION refere-se à ordem esperada em um determinado campo de fenômenos. É um princípio que rege, segundo Toulmin, a formulação de perguntas de pesquisa. As questões formuladas, sob essa perspectiva, são recortes epistemológicos de um fenômeno em um horizonte de regularidades. Serve-nos na análise da capacidade heurística e original das perguntas formuladas por cientistas e filósofos. (Stephen Toulmin, em *Foresight and understanding*, 1961 e *The idol of stability*, 1998).

²⁰ “infinitas formas” (Tradução minha).

acaloradas e, ao assentar-se, demonstrou-se uma das ideias mais poderosas já formuladas pelo ser humano (DENNETT, 1995).

Porém, infelizmente carecemos de pesquisas que sistematizem esta realização (da evolução como conceito unificador da Biologia), que parece ser dada por certa, como um princípio; mas que, em meu entender, necessita de justificação e caracterização. Não encontramos, na literatura, pesquisas que se proponham a estabelecer os critérios pelos quais podemos, com segurança, denominar a evolução um conceito unificador da Biologia. Portanto, pretendo, aqui, justamente verificar essa hipótese e propor como seria possível caracterizá-lo como tal.

2.3.2 Autopoiese: a vida se fabrica

E não há melhor resposta
que o espetáculo da vida:
vê-la desfiar seu fio,
que também se chama vida,
ver a fábrica que ela mesma,
teimosamente, se fabrica,
vê-la brotar como há pouco
em nova vida explodida;
mesmo quando é assim pequena
a explosão, como a ocorrida;
mesmo quando é uma explosão
como a de há pouco, franzina;
mesmo quando é a explosão
de uma vida severina.

(*Morte e vida severina*, 1955, de João Cabral de Melo Neto).

O conceito de autopoiese foi (e ainda tem sido) desenvolvido por diversos autores. Porém, seus mais proeminentes defensores são, de fato, Humberto Maturana e Francisco Varela (1980). A teoria da autopoiese, formulada por estes dois pesquisadores, nos diz, resumidamente, que sistemas biológicos podem ser definidos como sistemas auto-organizados. Em outras palavras, são sistemas capazes de manter sua organização interna a despeito de perturbações do meio; e, na verdade, às custas dessas mesmas perturbações. São sistemas que se auto-produzem constantemente; são, portanto, auto-referenciados, cuja organização final é atingida mediante o constante reaproveitamento, como reagente, daquilo que é produzido. Os seres vivos para a teoria da autopoiese são, em suma, sistemas abertos

com relação à entrada e saída de matéria e de energia, porém fechados em sua organização interna auto-referenciada.

O conceito de autopoiese me ocorreu ao me questionar sobre a possibilidade de existência de outros candidatos a conceitos unificadores da Biologia, além da evolução. E semelhantemente ao que ocorreu com o conceito de evolução, a autopoiese também passou por processos de estranhamento, indiferença, rechaço e confusão; mas também espanto, admiração e excitação. Porém, enquanto o conceito de evolução encontra-se em um estágio aparentemente mais maduro e sedimentado na concepção de mundo que construímos, a autopoiese ainda experimenta um turbilhão intelectual. Embora diversos autores continuem a demonstrar a consistência e a capacidade altamente heurística da autopoiese para o entendimento do mundo vivo (MATURANA & VARELA, 1995 e 2003; SHAROV, 1991 e 1999; e RICHARDSON, 2001), o fato é que, hoje, este ainda é um conceito que pode ser considerado um tanto quanto estranho para muitos cientistas, inclusive biólogos.

No entanto, com o crescente movimento do pensamento sistêmico, em especial desde a sistematização fornecida por Bertalanffy (1968), o aumento do interesse e da quantidade de pesquisas envolvendo a autopoiese confirmam a importância deste conceito para a Biologia (MAGRO, 2002; MOREIRA, 2004; MORIN, 2006) e também para o ensino de Biologia e de Ciências Naturais (MEGLHIORATTI, 2009; SILVA, 2017). Trata-se, reconhecidamente, de um conceito central na Biologia, que possibilitou escaparmos de uma infundável lista de propriedades conferidas aos seres vivos, na intenção de caracterizá-los.

Maturana demonstrou, porém, que o erro fundamental de todas aquelas tentativas anteriores de se caracterizar o vivo era o fato de se basearem nas estruturas dos sistemas biológicos. Sua proposta (a autopoiese), ao contrário, buscava na organização da vida sua definição. Pois é a organização que se mantém, embora as estruturas possam mudar, ora participando ora não participando da organização. É possível, em alguns casos, inclusive, substituir algumas estruturas. Porém, desde que a organização autopoietica seja mantida, podemos dizer que ali se mantém a vida e que aquele é um sistema biológico ou um ser vivo.

Enfim, e tal como ocorre com a evolução, o conceito de autopoiese possui um forte caráter unificador, pois representa o próprio fundamento do que é um ser vivo; o que é, exatamente, o princípio fundamental da Biologia. E também como ocorre com a evolução, o conceito de autopoiese carece de pesquisas que realizem a tarefa de testá-lo e caracterizá-lo como um conceito unificador da Biologia.

2.3.3 Ritmos biológicos: a vida é cíclica

A Cronobiologia é o estudo das “características temporais da matéria viva” (ROTENBERG et al., 2003, p. 32); resumidamente, dos ritmos biológicos. E, embora recente como campo de conhecimento formal, tem sido desenvolvida há muito tempo. Em verdade, desde que alguns pensadores, tais como Hipócrates, Aristóteles e Galeno, observaram que existia uma certa repetição regular de eventos no mundo vivo (ROTENBERG et al., 2003). Nem todos estes eventos são, de fato, reconhecidos como ritmos biológicos; porém, isto é válido para vários deles.

O conceito de ritmos biológicos não nasceu dela, mas tomou seu contorno e definição a partir de sua integração na Cronobiologia (MARQUES & MENNA-BARRETO, 2003; DUNLAP *et al.*, 2004). A Cronobiologia se dedica exatamente a estudar os ritmos biológicos e busca entender como e por que os ritmos encontrados nos seres vivos ocorrem (FOSTER, 2011).

Um ritmo biológico pode ser definido como sendo a repetição de fenômenos biológicos (produtos da interação entre o meio interno e o meio externo ao organismo) em intervalos de tempo mais ou menos regulares (ROTENBERG et al., 2003). Há várias características mensuráveis nos ritmos biológicos, tais como período, frequência e amplitude. E eles podem ser observados de maneira abundante na natureza, possibilitando uma nova concepção da vida e de suas manifestações (FOSTER, 2010).

A introdução e o desenvolvimento do conceito de ritmos biológicos possibilitou, então, uma nova visão do mundo vivo e, conseqüentemente, uma nova epistemologia da Biologia. Portanto, este é um conceito que se configura, sem dúvida, como potencial unificador dessa ciência. O que, à semelhança dos outros conceitos aqui descritos, ainda resta por ser caracterizado.

3 CARACTERIZAÇÃO DOS CONCEITOS UNIFICADORES

De acordo com o caminho tomado até aqui, foi possível verificar que, embora haja fortes indícios para que os conceitos propostos sejam unificadores da Biologia, eles se configuram, até o momento, somente como candidatos ao “cargo”. Faltam, em toda a literatura, pesquisas sistemáticas e criteriosas que assumam a tarefa de esclarecer sobre o que seria, de fato, um conceito unificador. Esta tarefa deveria ser realizada antes que propuséssemos um conceito como unificador de uma ciência.

Mesmo no caso do conceito de evolução, que goza de uma grande quantidade de pesquisas (talvez dificilmente comparável entre os conceitos científicos), os trabalhos relacionados não estabelecem critérios seguros para sua caracterização como unificador da Biologia. Parecem, em quase sua totalidade, considerar, como princípio, que isso já é dado, já é sabido por todos. Mas será que é assim?

Se mantivermos inquestionável o potencial unificador da evolução, não conseguiremos caracterizá-lo adequadamente, a ponto de torná-lo instrumental no entendimento do mundo vivo. Como consequência, teremos dificuldades para propormos novos conceitos unificadores, dado que não conheceremos as propriedades que devem apresentar conceitos unificadores em uma ciência.

Por outro lado, os conceitos de autopoiese e de ritmos biológicos apresentam outros desafios. Ambos são relativamente recentes e menos ubíquos em pesquisas quando comparados à evolução. O que não invalida, de forma alguma, suas potencialidades como conceitos unificadores. Suas possíveis qualidades como tais (tanto como as da evolução) serão testadas a partir dos critérios que serão desenvolvidos e apresentados nas próximas seções.

3.1 O QUE É, AFINAL, UM CONCEITO UNIFICADOR?

Como caracterizar um conceito como unificador? Como identificá-lo ou estabelecê-lo como tal? Que critérios devemos usar? Estas são as principais questões que devemos ter em mente quando nos referimos a conceitos unificadores de uma ciência. Sendo assim, ao menos no que diz respeito ao conceito de evolução²¹, seria de se esperar que houvesse na literatura vastos desenvolvimentos teóricos no sentido de sua caracterização mais fundamentada e criteriosa como um conceito unificador da Biologia. Na realidade, como um passo anterior, esperaríamos encontrar definições mais claras a respeito do que é, propriamente, um conceito

²¹ Pelos motivos elencados na seção anterior: Capítulo 3.

unificador. E o curioso é que nem uma nem outra questão foi, até agora, abordada nestes termos e com essa profundidade.

Parece-me legítimo, portanto, perguntar-se sobre o que seria, exatamente, um conceito unificador? E, então, definir os termos em que tanto a evolução quanto a autopoiese e os ritmos biológicos sejam, de fato, conceitos unificadores.

Em sua tese de doutorado, José Angotti (1991) propõe a utilização de conceitos unificadores no ensino de Física. Afirma, então, que, ao contrário do que dizem alguns críticos, a abordagem por conceitos unificadores leva à discussão das diferenças, à exposição das contradições. Angotti propõe 4 conceitos unificadores para o ensino de Física e os hierarquiza em primeira (*transformações e regularidades*) e segunda (*energia e escalas*) ordens e então afirma que eles se configuram em “...ganchos teóricos que podem articular/organizar conhecimentos aparentemente distintos em níveis intra e interdisciplinar.” (ANGOTTI, 1991, p. 108).

Embora seja, de fato, uma genuína defesa de conceitos unificadores, a proposta de Angotti se diferencia da minha em alguns pontos. O primeiro deles é que se destina à Física e, mais precisamente, ao ensino de Física. Um segundo ponto refere-se à hierarquização fornecida. Da forma que concebo os conceitos unificadores, não faria sentido hierarquizá-los. Finalmente, a caracterização que Angotti faz dos conceitos unificadores é um tanto vaga e carente, ao meu ver, de critérios mais seguros²². Tento trazer à discussão justamente critérios que, espero, contribuam para um esclarecimento sobre o tema e para férteis desdobramentos.

Antes de abordar, porém, os critérios que proponho, quero comentar algumas características gerais que os conceitos unificadores devem apresentar. Antes de mais nada, os conceitos unificadores devem ser mais do que “conceitos em comum”, que formam pontes de um corpo (ou área) de conhecimento a outro; são fundamentais deste e daquele. São imprescindíveis tanto para um quanto para outro; e é nisto, exatamente, que repousa sua capacidade de unificar. Assim, os conceitos unificadores são mais do que interdisciplinares. Podemos dizer que constituem a própria condição de existência de uma ciência. São a identidade de uma ciência, pela qual ela é reconhecida e separada das demais.

É certo que o desenvolvimento de uma ciência e a prática de seus adeptos não necessita, *a priori*, da identificação de conceitos unificadores. De fato, muitos biólogos, antigos e contemporâneos, têm trabalhado arduamente dentro da ciência, produzindo efetiva e

²² Mantenho-me advertido, contudo, de que Angotti tratou do ensino de Física, área na qual possuo pouco conhecimento. Minha crítica, portanto, poderia ser considerada enviesada, já que tento fazê-la ao transpor a argumentação de um campo para outro.

reconhecidamente conhecimentos de estimado valor, sem que tenham sido estimulados ou interessados em questões do tipo: o que realmente unifica a Biologia? ou qual a identidade última da Biologia?

Porém, desde os gregos têm surgido aqueles preocupados em questões desta natureza e profundidade. Estes pensadores, interessados nas bases epistemológicas da ciência, encontraram um campo fértil de trabalho. Já que a Biologia, uma ciência da diversidade por excelência, ainda clamava por uma epistemologia mais fortemente construída.

Essa necessidade de uma epistemologia sólida para a Biologia surgiu especialmente relacionada a recentes avanços (principalmente no século XX) na Biologia teórica e empírica e à tentativa de fornecer maior coerência e coesão à ciência do mundo vivo. Exemplos desses desenvolvimentos são as questões relacionadas à vida artificial, à teoria da mente, à semiótica, às teorias da complexidade, aos avanços da genética e biotecnologia, à vida extraterrestre, entre outras. Tais questões levaram à retomada de outras, mais fundamentais, do tipo: o que é vida?, qual a natureza e as características típicas dos sistemas biológicos? e que ciência é esta, denominada Biologia? Com efeito, questões desta natureza requerem aproximações que, invariavelmente, levam ao desenvolvimento de conceitos unificadores.

Os conceitos exercem um papel fundamental nas teorias e epistemologias científicas. Eles são articulados pela linguagem para explicar um fenômeno. A explicação é, em si, uma teoria. Porém, as teorias estão relacionadas diretamente a epistemologias, a formas de conhecer e de conceber o mundo. Desta forma, enquanto as teorias se referem a um ou alguns objetos ou fenômenos naturais, as epistemologias fornecem embasamento para a interpretação de todo o universo referentemente delimitado. Epistemologias são verdadeiros sistemas de pensamento que criam, organizam e relacionam conceitos unificadores. Por outro lado, os conceitos unificadores seriam a própria condição de existência das epistemologias: sua expansão e articulação com outros conceitos permitem o desenvolvimento de epistemologias, de novas formas de entender o mundo.

Há, portanto, uma relação dialógica entre conceitos unificadores e epistemologias. Um conceito só será dito unificador se surge de uma epistemologia e obedece a determinados critérios²³; e um sistema de pensamento somente se configura em uma epistemologia se cria (e organiza) conceitos unificadores. Defendo aqui, portanto, que, ao tratar dos conceitos que proponho como unificadores (*evolução, autopoiese e ritmos biológicos*), estou também me referindo às epistemologias nas quais aqueles conceitos se originaram e se organizam. Tanto o pensamento de Darwin quanto o de Maturana e a Cronobiologia fornecem formas originais,

²³ Que serão propostos nas seções seguintes.

estruturadas, coesas e coerentes de entendimento e visão do mundo vivo; são, portanto, verdadeiras epistemologias biológicas.

Considerando, assim, as características que os conceitos unificadores devem apresentar, retornemos a uma das questões iniciais: que critérios devem ser usados para se estabelecer conceitos unificadores? Nas seções que seguem apresentarei minhas propostas para responder a essa questão.

3.2 CRITÉRIOS PARA O ESTABELECIMENTO DE CONCEITOS UNIFICADORES

Nesta seção serão desenvolvidos e apresentados os critérios que devem ser obedecidos por um conceito para que ele seja denominado unificador da Biologia. São eles: *dialogicidade*, *necessidade*, *universalidade*, *especificidade* e *heurística*. Ao longo da discussão submeterei todos os candidatos a conceitos unificadores a cada um dos critérios, com o objetivo de testar sua conformidade.

3.2.1 Dialogicidade

O critério de dialogicidade estabelece que um conceito unificador deve se configurar em uma resposta a uma pergunta fundamental; pergunta esta formulada dentro (ou a partir) de teorias ou epistemologias biológicas. A pergunta fundamental permite um recorte no ION (TOULMIN, 1961) da epistemologia, dentro da qual a própria pergunta foi formulada. Sua elaboração se configura em uma verdadeira ruptura epistemológica (BACHELARD, 2006), a partir da qual o entendimento de todo o conjunto de fenômenos relativos àquela área recebe nova perspectiva. Sendo assim, para que o critério de dialogicidade seja satisfeito pelo conceito em análise devemos ser capazes de identificar a pergunta fundamental para a qual aquele conceito se configura em uma resposta. Alguns autores, no desenvolvimento de suas ideias e teorias, explicitaram claramente suas perguntas. Outros, porém, não foram tão generosos com seus sucessores.

De qualquer forma, é possível (e, na verdade, essencial) que identifiquemos que perguntas foram essas, que mudaram o entendimento e os rumos de investigação do mundo vivo. Nas seções seguintes tentarei demonstrar que os três conceitos candidatos a unificadores configuram-se em respostas a três das perguntas mais fundamentais formuladas na Biologia.

3.2.1.1 A dialogicidade da evolução

Qual é a pergunta fundamental a que o conceito de evolução responde? Charles Darwin (1872), embora não tenha sido o primeiro, foi sem dúvida fundamental para fornecer os limites dessa questão. Ao recorrermos ao método aqui empregado (do ION²⁴ de Toulmin), e tomando a liberdade de formulá-la em seu lugar²⁵, pode-se dizer que, em linhas gerais, a pergunta fundamental que tanto perturbava Darwin era: *Como se explica toda a diversidade de formas vivas que há na Terra?*

Neste contexto, o conceito de evolução toma, portanto, seus contornos²⁶ na tentativa de se entender a enorme diversidade de seres vivos no nosso planeta. Era necessário, segundo Darwin, explicar por que há tanta diversidade de formas vivas, dado que o esperado (seu ION) seria a manutenção da forma parental (e ancestral) pelas relações de descendência.

A evolução é, assim, a resposta ao questionamento sobre a diversidade filogenética encontrada no planeta (e talvez em qualquer outro planeta em que possamos encontrar vida). Seguindo, podemos considerar como satisfeito pelo conceito de evolução o critério de dialogicidade.

3.2.1.2 A dialogicidade da autopoiese

O conceito de autopoiese surge como uma tentativa de Humberto Maturana de responder a uma pergunta que ele formulou a si mesmo, após uma questão levantada por um de seus alunos durante uma aula na década de 1960. Maturana, então, relata que, embora viesse refletindo sobre o tema há algum tempo, ainda não o havia formulado naqueles termos. A questão dirigida a ele, e posteriormente reformulada, de modo a fornecer uma heurística mais adequada, foi: “what is proper to living systems that had its origin when they originated, and has remained invariant since then in the succession of their generations?”²⁷ (MATURANA & VARELA, 1980, p. xii).

Após assumir seriamente a tarefa de responder a essa questão, Maturana chegou à conclusão de que se tratava de uma pergunta não sobre as propriedades dos seres vivos ou mesmo sobre suas estruturas. Uma lista interminável de características não responderia à

²⁴ Na seção 2.3.1 já discorri sobre qual seria o ION de Darwin, para que elaborasse sua teoria e, portanto, o conceito de evolução.

²⁵ Pois Darwin não a elaborou explicitamente nestes termos.

²⁶ Tal como já explicitado anteriormente: sobrevivência e reprodução diferencial de classes de sistemas biológicos que se modificam ao longo do tempo.

²⁷ “o que é próprio dos sistemas vivos que teve sua origem quando eles se originaram e que têm se mantido desde então na sucessão de suas gerações?” (Tradução minha).

questão. Antes, o que Maturana procurava era uma resposta à questão sobre a organização do ser vivo. Sobre esse momento, Rolf Behncke, que escreveu o prefácio de *A árvore do conhecimento* (1995, p. 38), comenta:

Encontrar essa resposta de modo algum foi simples. Chama a atenção, contudo, uma característica muito particular de sua gênese, qual seja, ela não foi gerada como uma armação de um quebra-cabeça, juntando-se os fragmentos para produzir uma totalidade, e sim ao contrário: ela surgiu de uma súbita e repentina visão sobre a totalidade, da qual foi emergindo o trabalho detalhado de cada uma de suas peças.

É útil, aqui, realizar uma importante distinção. Ao falarmos da origem de determinadas formas vivas ou de determinadas espécies, mobilizamos uma coleção diferente de conceitos e argumentações do que aquelas necessárias para responder à pergunta de Maturana. A natureza das perguntas é diferente. A pergunta *como surgiu a espécie humana?*, por exemplo, não assume os mesmos princípios (não é da mesma natureza), da pergunta *como surgiu a vida?* Conseqüentemente, as respostas a cada uma delas mobilizam conhecimentos e exigem conceitos diferentes. Enquanto a primeira (como surgiu a espécie humana?) é uma pergunta sobre o início da existência de uma forma de vida específica, a segunda questão refere-se ao início de uma qualidade diversa de classe de ser; sua ontologia, portanto, é diferente (MATURANA, 2002). Enquanto a primeira é uma pergunta particular, a segunda é uma pergunta geral. Enquanto aquela nos remete à caracterização de uma subclasse de entidades (cuja referência se encontra na classe da qual faz parte), a pergunta sobre a origem da vida nos exige a criação de um referencial conceitual novo e original.

Enfim, quando nos questionamos a respeito da origem da espécie humana (ou de qualquer outra), podemos acrescentar propriedades e características estruturais ao conceito que já concebemos para o que vem a ser um ser vivo. Por outro lado, quando a pergunta é sobre a origem da vida, qualquer resposta precisa levar em consideração não as estruturas, por vezes contingentes, da unidade (ser vivo), mas sua organização (MATURANA & VARELA, 2003); que é aquilo que lhe confere identidade, delimitação e diferenciação em relação ao seu entorno e às outras unidades.

Ao aplicarmos o princípio metodológico do ION (TOULMIN, 1961) na análise do surgimento do conceito de *autopoiese*, percebemos que Maturana, ao formular finalmente sua pergunta, realiza um recorte e, portanto, promove uma verdadeira ruptura epistemológica (BACHELARD, 2006) em relação à ordem até então vigente no campo da Biologia: a adaptação dos seres vivos a partir das informações recebidas do ambiente. O conceito de

autopoiese encerra o oposto disso. Segundo Maturana (1999 e 2003), a organização dos seres vivos é independente, autônoma e fechada a tal ponto que pode ser somente perturbada por ação do entorno, de maneira que leve a uma ação neutra, a uma reestruturação ou a uma total desorganização (morte). Tal perturbação é determinada pela própria estrutura do ser vivo e não pela natureza ou intensidade da perturbação.

Porém, a pergunta a que Maturana se propôs responder (e para a qual a resposta é a autopoiese) não foi, de fato, *como surgiu a vida?*; ela somente guarda semelhança com esta. Embora este tenha sido o início do problema que se colocava, Maturana chegou à conclusão de que deveria formular a pergunta em outros termos, a fim de evitar que se entendesse tratar das condições, das causas da origem da vida, um evento pontual. Antes, ele pensava que a pergunta deveria se referir exatamente a uma definição do que vem a ser o vivo, qualquer que seja sua estrutura. Desta forma, a pergunta fundamental a que Maturana chegou foi: *qual é a organização do vivo?* (MATURANA & VARELA, 1995).

E o conceito de autopoiese encerra exatamente uma concepção sobre a organização do ser vivo. E se configura em uma resposta legítima àquela pergunta fundamental. Portanto, o conceito de autopoiese obedece integralmente ao critério de dialogicidade.

3.2.1.3 A dialogicidade dos ritmos biológicos

Finalmente, devemos elaborar, de forma clara, a que pergunta fundamental os ritmos biológicos respondem. Quando aplicamos o princípio ION de Toulmin (1961) na análise do conceito de ritmos biológicos, verificamos que ele surge de um recorte da ordem natural esperada de que os organismos responderiam aos ciclos ambientais. Os ritmos biológicos, na realidade, subvertem essa lógica, provando que a determinação da ritmicidade é prerrogativa do organismo e não do ambiente. O ambiente funcionaria, na epistemologia da Cronobiologia, como um *zeitgeber* (acoplador temporal) para o organismo. Dessa forma, o ritmo, produzido pelo próprio ser vivo (KOUKKARI & SOTHERN, 2006), estaria sujeito (ou não, quando se encontra em *livre-curso*²⁸) a sincronizadores ambientais, não a determinantes ambientais.

Utilizando a fértil análise epistemológica que o ION (TOULMIN, 1961) nos fornece, podemos perceber que uma característica fundamental dos ritmos biológicos (e que possibilitou que todo um campo de investigação surgisse) é sua determinação na estrutura dos

²⁸ Um ritmo biológico está em livre-curso quando estão interrompidas (temporária ou permanentemente e natural ou artificialmente) interações entre o sistema biológico que apresenta o ritmo e parte do ambiente natural deste sistema que poderia ter alguma influência sobre o ritmo em questão (MARQUES *et al.*, 2003).

sistemas biológicos, e não nas mudanças do ambiente. Ou seja, o fato de os ritmos ocorrerem por uma determinação interna e intrínseca aos próprios seres vivos nos permite inferir que uma pergunta sobre tais ritmos seria uma pergunta sobre a organização da ciclicidade dos fenômenos biológicos.

Sendo assim, a pergunta fundamental da Cronobiologia poderia ser assim elaborada: *Qual é a organização da ciclicidade dos fenômenos biológicos?* E a resposta para esta questão é, exatamente: ritmos biológicos. Desta forma, podemos dizer que o conceito de ritmos biológicos satisfaz o critério de dialogicidade.

3.2.2 Necessidade

Um conceito unificador é teoricamente necessário. Em outras palavras, ao se explicar ou teorizar sobre qualquer fenômeno ou sistema biológico, deve haver a pressuposição (ainda que implícita) daquele conceito. Pois um conceito unificador é o fundamento último das teorias e epistemologias biológicas. Nas próximas seções pretendo demonstrar que os conceitos de evolução, autopoiese e ritmos biológicos são imprescindíveis para um entendimento profundo e significativo do mundo vivo; devem, portanto, constar (implícita ou explicitamente) de um verdadeira epistemologia biológica unificada.

3.2.2.1 A necessidade da evolução

O conceito de evolução se tornou teoricamente necessário em virtualmente toda e qualquer explicação biológica. Claramente, não se pode falar de modificações históricas nos sistemas biológicos sem que se refira ao conceito de evolução. Por outro lado, quando nos focamos em fenômenos menos claramente inseridos em um contexto histórico (como podem ser os fenômenos fisiológicos, por exemplo), nossa explicação pode abrir mão de se referir, explicitamente, à evolução.

No entanto, não há dúvida de que toda explicação a respeito de um fenômeno biológico se torna muito mais rica quando há alguma referência aos mecanismos e eventos evolutivos que levaram à sua origem e explicitam sua organização (SOBER, 2000; MATURANA & MPODOZIS, 2000). Em outras palavras, mesmo quando nos referimos àqueles fenômenos típicos da biologia funcional (CHEDIAK, 2018), para que uma explicação biológica seja plenamente satisfeita não podemos prescindir do conceito de evolução (MAYR, 1998).

Em resumo, ao se proceder a explicação de qualquer fenômeno ou sistema biológico, há sempre que se explicitar (ou, ao menos, pressupor) sua contingência histórica, como produto de um processo evolutivo. Desta forma, podemos afirmar que está conferida a necessidade teórica do conceito de evolução e, portanto, satisfeito o critério de necessidade.

3.2.2.2 A necessidade da autopoiese

Devemos lançar mão do conceito de autopoiese sempre que o entendimento de um fenômeno exija alguma referência à organização e às relações estruturais dos sistemas biológicos participantes. A ideia, fornecida pelo conceito de autopoiese, de que seres vivos são sistemas auto referenciados, autônomos, fechados em sua organização e em constante acoplamento estrutural com o meio e outros seres vivos (MATURANA & VARELA, 2003) é essencial para o entendimento de qualquer fenômeno biológico.

Toda teoria a respeito de um sistema ou de um fenômeno biológico precisa possuir em sua estrutura alguma definição, ainda que implícita, de ser vivo. Somente tendo em mente o que aquela teoria concebe como ser vivo é que se pode entender as explicações que ela formula sobre os fenômenos ou sistemas de que trata. Do contrário, seu entendimento ficará prejudicado; carecerá, enfim, de coesão.

E o conceito de autopoiese fornece a elucidação sobre a organização do ser vivo; sobre, portanto, a própria identidade do que é vivo. A autopoiese, afinal, é a própria definição e condição de existência da vida. É, assim, um conceito imprescindível nas explicações e teorias biológicas; e, portanto, satisfaz plenamente o critério de necessidade para conceitos unificadores.

3.2.2.3 A necessidade dos ritmos biológicos

Os ritmos biológicos são um conceito central para se compreender as transformações que ocorrem nos seres vivos (FOSTER, 2011; MARQUES & MENNA-BARRETO, 2003). Afinal, toda e qualquer referência a modificações repetitivas no tempo apresentadas pelos seres vivos não pode prescindir do conceito de ritmos biológicos (FOSTER et al., 2010).

De fato, ao se proceder na explicação de um fenômeno ou sistema biológico qualquer, torna-se necessária a consideração de que sua ocorrência e existência são cíclicas ou se dão em consonância direta ou indireta com outros fenômenos cuja ocorrência é cíclica (KOUKKARI, 2006). Desta forma, os ritmos biológicos são um conceito fundamental nas

explicações e teorias da Biologia; e, portanto, preenchem satisfatoriamente o critério de necessidade para conceitos unificadores.

3.2.3 Universalidade

Um conceito unificador deve ser universal dentro da Biologia. Deve ser ubíquo nesta ciência. Ou seja, deve ser reconhecido e passível de aplicação em todos os fenômenos e sistemas vivos, bem como em seus níveis hierárquicos. Um conceito unificador da Biologia deve poder transitar, também, entre teorias e epistemologias biológicas.

Conceitos unificadores são, portanto, universais nas teorias e epistemologias biológicas (MATURANA & MPODOZIS, 2000). Podemos, de fato, identificá-los nos diversos sistemas de pensamento que tratam dos fenômenos da vida (MORIN, 2006). Teorias tão diferentes quanto aquelas relativas às células e ao comportamento (LORENZ, 1963) estão conectadas pela presença, em sua estrutura, dos conceitos unificadores. Desta forma, a hipótese que será testada a partir do critério de universalidade é a de que todo ser vivo poderia ser definido como um sistema autopoietico, historicamente construído, que realiza oscilações rítmicas internamente organizadas.

3.2.3.1 A universalidade da evolução

Desde a introdução e desenvolvimento do conceito de evolução, nem o mundo nem a Biologia foram mais os mesmos (MAYR, 1982). Vários autores passaram a estudar a evolução e a apresentá-la como um dos principais e mais fundamentais conceitos da Biologia. Na *Apresentação* de sua excelente tradução de *A origem das espécies*, Pedro Paulo Pimenta (2018, p. 23) nos fornece uma boa perspectiva sobre esse assunto:

A importância da teoria da descendência com modificação por seleção natural reside, sobretudo, na mudança de perspectiva que ela trouxe, a ponto de se tornar possível uma nova ciência, a biologia, fundada no princípio de que os organismos são unidades constituídas historicamente...

Podemos citar, ainda, a célebre frase de Dobzhansky: “nothing in biology makes sense except in the light of evolution”²⁹ (DOBZHANSKY, 1973). Na mesma linha de argumentação seguem Julian Huxley (1948), Ernst Mayr (2001 e 2004), Stephen Jay Gould (2002) e

²⁹ “nada na biologia faz sentido exceto à luz da evolução” (Tradução minha).

Michael Ruse (2008). Para todos esses autores (e para tantos outros) a evolução já é, de fato, um conceito unificador. Cada um desenvolveu, em sua obra, argumentações convincentes em favor do poder explicativo e unificador da evolução para a Biologia. Encontramos, inclusive, defesas semelhantes em pesquisas e documentos oficiais sobre ensino de Biologia (BRASIL, 2018; ARAÚJO, 2019).

Todo e qualquer sistema biológico é uma unidade historicamente construída (MAYR, 1982). Desde o nível molecular (DAWKINS, 1993) até o nível ecológico (LOVELOCK, 2000) podemos estabelecer relações e investigar processos e padrões evolutivos (SOBER, 2000) envolvidos na construção e manutenção dos sistemas.

Os fenômenos descritos pelo conceito de evolução podem ser observados em um ecossistema, em um táxon, em uma população, em uma célula ou mesmo em moléculas biologicamente importantes, tais como os ácidos nucléicos ou as proteínas; são fenômenos, portanto, presentes em todos os níveis hierárquicos dos sistemas biológicos. Sendo assim, a evolução cumpre com os requisitos exigidos pelo critério de universalidade para conceitos unificadores.

3.2.3.2 A universalidade da autopoiese

Todo sistema biológico é uma unidade autopoietica (MATURANA & VARELA, 2003). A existência e a manutenção dos sistemas vivos, em qualquer nível hierárquico considerado, envolve, necessariamente, relações, padrões e processos (SOBER, 2000) autopoieticos. O conceito de autopoiese estabelece que os seres vivos são sistemas autônomos, auto-referenciados, fechados em sua organização (clausura operacional), embora abertos em sua estrutura (acoplamento estrutural). E esta propriedade auto-organizacional dos seres vivos, descrita pela autopoiese, pode ser observada em todos os níveis hierárquicos.

Em *A árvore do conhecimento* (1995) Maturana e Varela nos mostram que pode haver, basicamente, três níveis de sistemas autopoieticos: de 1ª, 2ª e 3ª Ordens. Os sistemas autopoieticos de 1ª Ordem são moleculares; sua representação fundamental é a célula. Os sistemas de 2ª Ordem surgem do acoplamento de dois ou mais sistemas de 1ª Ordem; são, portanto, os seres vivos metacelulares. Finalmente, os sistemas de 3ª Ordem relacionam-se aos fenômenos sociais: quando dois ou mais sistemas de 2ª Ordem entram em acoplamento estrutural. Como se pode depreender, a cada Ordem (definida por Maturana e Varela) corresponde um nível hierárquico do mundo vivo.

A autopoiese pode, então, ser observada em todos os níveis hierárquicos dos sistemas e fenômenos biológicos. Desta forma, podemos afirmar que a autopoiese obedece integralmente ao critério de universalidade para conceitos unificadores da Biologia.

3.2.3.3 A universalidade dos ritmos biológicos

Podemos observar ritmos biológicos em unicelulares (por exemplo, ciclos reprodutivos), plantas (ciclos de floração ou de frutificação, por exemplo), invertebrados (como trocas de exoesqueleto) (MARQUES, 2003b) e em vertebrados (por exemplo, ciclo sono-vigília) (GOLOMBEK & AGUILAR-ROBLERO, 2003). Podemos, também, fazer uma análise (nos moldes clássicos do reducionismo metodológico) de um ritmo biológico, chegando a observar seu funcionamento molecular (LOPES *et al.*, 2003).

Os ritmos biológicos podem ser classificados de acordo com o tamanho de seus períodos ou de suas frequências em circadianos, infradianos ou ultradianos (MARQUES *et al.*, 2003). Além disso, os ritmos podem apresentar alterações de algumas de suas características ao longo do tempo ontogenético (ANDRADE *et al.*, 2003), relacionado ao desenvolvimento individual, ou evolutivo (MARQUES, 2003a; VAL, 2003), relacionado às modificações de classes de seres vivos. Fenômenos que se apresentam na juventude, por exemplo, podem ter alterada sua frequência ou sua amplitude nas etapas posteriores da ontogênese. Da mesma forma, as transformações evolutivas sofridas pelas linhagens de seres vivos são acompanhadas de modificações na ritmicidade dos fenômenos biológicos que nelas se realizam.

Por esta ubiquidade apresentada pela ritmicidade biológica (DUNLAP, 2004; FOSTER, 2011; KUMAR, 2017) e por sua persistência em vários níveis hierárquicos dos sistemas biológicos (das moléculas às relações ecológicas) podemos dizer que este é um conceito que está de acordo com o critério de universalidade para conceitos unificadores.

3.2.4 Especificidade

Um conceito unificador deve ser específico da Biologia. Deve fornecer alguma identidade para a Biologia (MAYR, 2001 e 2004) e ser capaz de a diferenciar de outras ciências ou áreas da atividade intelectual humana. Deve ser característica e exclusivamente biológico. Ou seja, deve ser criado e funcionar em teorias ou epistemologias biológicas, que se prestam a explicar fenômenos biológicos.

Curioso notar que cada um dos conceitos aqui apresentados sejam com alguma frequência mal referidos e utilizados inadequadamente em diversas áreas e atividades. Para tanto, podemos citar a desastrosa interpretação do conceito de evolução que foi desenvolvida no *darwinismo social* (LEONARD, 2009) e que culminou na ignomínia do nazismo. No mesmo sentido, Humberto Maturana com frequência se incomodou com os usos nada criteriosos do conceito de autopoiese. Em bibliotecas e livrarias podemos encontrar menções à *autopoiese do direito* (FILHO, 2018) e *da gestão empresarial*, entre outras. Por sua vez, a Cronobiologia, ainda hoje, despende grande esforço para diferenciar os ritmos biológicos dos *biorritmos* (conceito que possui pouco ou nenhum embasamento teórico/científico).

Apesar da ocorrência de situações como as descritas, o fato é que tanto a autopoiese quanto os ritmos biológicos e a evolução são conceitos especificamente biológicos. Somente têm sentido e se configuram como conceitos em teorias e epistemologias biológicas. É nelas que se organizam e com elas interagem. Tais conceitos representam fenômenos exclusivamente biológicos que ocorrem com (ou fazem parte de) sistemas biológicos. E, portanto, sua extrapolação para outras áreas deve ser evitada, sob o risco de se incorrer em erro epistemológico.

Embora (como descreve o critério anterior) um conceito unificador deva ser universal dentro da Biologia, não se espera que ele seja tão geral a ponto de ‘abraçar tudo’. Em outras palavras, um conceito, para ser denominado unificador da Biologia não pode ser tal que seja igualmente aplicável tanto a esta ciência quanto a qualquer outra.

Metaconceitos, tais como *espaço e tempo* ou *regularidades e transformações* (ANGOTTI, 1991) são, obviamente, estruturantes de muitas explicações e teorias científicas; e não é diferente com a Biologia. Porém, devido justamente a essa ampla universalidade de tais conceitos, eles se mostram pobres em fornecer a heurística exigida para o entendimento de sistemas ou fenômenos biológicos específicos. Desta forma, o desafio é encontrar conceitos que, ao mesmo tempo em que se apresentam universais dentro da Biologia, sejam também específicos desta ciência. Sendo assim, o objetivo das seções a seguir é o de avaliar se os conceitos propostos como unificadores da Biologia são, de fato, específicos desta ciência; e, portanto, cumprem o critério de especificidade.

3.2.4.1 A especificidade da evolução

Embora (como comentado na seção anterior) possa ocorrer alguma confusão em relação ao termo, o conceito de evolução, no âmbito da Biologia, é sem dúvida específico

desta ciência. Afinal, somente sistemas biológicos são historicamente construídos e apresentam, assim, um passado evolutivo essencialmente diferente de seu presente no que diz respeito à organização do sistema e às perturbações ambientais sofridas por ele.

De fato, é através do conceito de evolução que encontramos o tipo de resposta a questões da forma *por quê* na Biologia (MAYR, 1982). Perguntas desta natureza requerem uma resposta evolutiva, que se valha da explicação de processos e padrões evolutivos. E estas são as questões frequentemente lançadas aos sistemas biológicos.

À diferença do que ocorre com sistemas físicos, que obedecem necessariamente a leis físicas, os sistemas biológicos possuem um programa historicamente construído. São, em suma, de natureza diferente daquela prevista para sistemas físicos.

A identidade histórica não é uma exclusividade do mundo vivo. Porém, a ocorrência evolutiva é específica dos sistemas biológicos e somente neles faz sentido, permitindo a construção de conhecimento a partir das perguntas que sobre eles podem ser formuladas. Desta forma, o critério de especificidade está contemplado pelo conceito de evolução.

3.2.4.2 A especificidade da autopoiese

O conceito de autopoiese foi cunhado para dar conta da organização do ser vivo. É, em suma, uma definição do vivo (EMMECHE & EL-HANI, 2000), uma condição de existência da vida. E não pode, à revelia, ser irresponsavelmente aplicado a outros sistemas que não os vivos (físicos, por exemplo, ainda que complexos).

Como comentado anteriormente, o conceito de autopoiese já foi aplicado a uma gama enorme de áreas do conhecimento e da atividade humana. E, frequentemente, essa transposição não sofreu as adaptações necessárias e criteriosas para ser suficientemente relevante. Maturana, em diversas ocasiões, advertiu-nos que sempre falou do ponto de vista de um biólogo (MATURANA & VARELA, 2003; MAGRO, 2002); e que a autopoiese é, antes de mais nada, um conceito relacionado a fenômenos encontrados em sistemas biológicos moleculares (MATURANA & VARELA, 1995; MATURANA, 1999).

Portanto, a autopoiese é, genuinamente, um conceito nascido em uma epistemologia biológica e referente a sistemas e fenômenos biológicos. Desta forma, cumpre integralmente o critério de especificidade para conceitos unificadores.

3.2.4.3 A especificidade dos ritmos biológicos

Ritmos biológicos são fenômenos recorrentes no tempo ocorridos em seres vivos que possuem um caráter endógeno (DUNLAP, 2004; FOSTER, 2011; KOUKKARI & SOUTHERN, 2006); ou seja, são determinados pela própria estrutura e organização do sistema biológico em que ocorrem. São, portanto, fundamentalmente diferentes de ciclos ambientais (FOSTER, 2010), como dia e noite e as estações do ano, por exemplo. Diferenciam-se, igualmente, de possíveis reações a estímulos imediatos que podem ocorrer com os indivíduos, como tremer de frio ou procurar abrigo durante uma enchente.

Além disso, foram formulados no seio de uma área de estudos biológica para responder a perguntas sobre fenômenos biológicos. Sendo assim, os ritmos biológicos cumprem com os requisitos exigidos pelo critério de especificidade aqui desenvolvido.

3.2.5 Heurística

Finalmente, um conceito unificador deve ser esteticamente heurístico; e promover aquilo que Edgar Wilson chamou de consiliência (WILSON, 1998). Deve promover coesão, convergência entre as teorias e epistemologias biológicas e permitir a explicação e o desenvolvimento de hipóteses e teorias de maneira concisa e elegante (GOULD, 1997), obedecendo a uma certa economia linguística.

A ciência às vezes coloca o conhecimento em uma fôrma esquisita, feia, nada atraente e frequentemente ininteligível, exceto para os iniciados. E muitas vezes a falta de harmonia e beleza no conhecimento sobre uma ciência está relacionada à incapacidade que seus estudantes têm de perceber sua unidade (TOULMIN, 1972; SMOLIN, 1997; LOVELOCK, 2000; CAPRA, 2014). Os conceitos unificadores seriam, segundo penso, uma boa solução para conferir essa unidade e, conseqüentemente, fornecer uma ideia de totalidade, coesa, coerente e harmônica do mundo vivo. Ou seja, os conceitos unificadores são necessários para uma adequada heurística da Biologia. Ao se prescindir de um conceito unificador, corre-se o risco de perda significativa na compreensão do fenômeno estudado ou explicado (MARTÍNEZ & BARAHONA, 1998).

O critério de heurística refere-se à capacidade explicativa dos conceitos unificadores. Exige deles o potencial de fornecer explicação para os fenômenos mais fundamentais ocorridos no universo biológico. Desta forma, o conceito unificador expande o universo conhecido e permite novas perspectivas, ao mesmo tempo em que fornece uma visão coerente e coesa da Biologia.

Parafraseando Ernst Mayr, que argumentava que na apreciação de qualquer fenômeno biológico deveriam ser consideradas tanto suas causas remotas quanto suas causas próximas (MAYR, 1982), defendo aqui que uma boa explicação para esse tipo de fenômeno, que objetive seu mais profundo e amplo entendimento, deve levar em consideração aspectos de sua evolução e de sua configuração autopoiética e oscilante. Ou seja, o que tentarei mostrar nas seções seguintes é que tanto o conceito de evolução, quanto os de autopoiese e de ritmos biológicos fornecem heurística à Biologia, enquanto possibilitam uma explicação unificada e elegante para os fenômenos e sistemas biológicos.

3.2.5.1 A heurística da evolução

Não parece haver dúvidas quanto ao caráter unificador da evolução. Este conceito unifica os sistemas biológicos de maneira cronológica e histórica e fornece uma certa estética de unidade sistêmica para toda a diversidade de formas vivas. A evolução estabelece como organização fundamental de todas as formas vivas o parentesco, a descendência comum. Se pudéssemos caminhar retroativamente no tempo, encontraríamos, um a um, os ancestrais que compartilhamos com outras espécies, até que chegássemos ao nosso mais antigo “tataravô” (DAWKINS, 2004), o ser que converge a descendência de toda a vida na Terra. Esta é a bela visão unificadora que a evolução nos proporciona.

A própria representação ícone da evolução, a árvore filogenética, apresenta-se como uma unidade imediatamente apreendida, como um *insight* (BOHM, 1980); uma bela imagem que apresenta o conhecimento sobre aquilo que unifica todas as formas de vida, passadas, presentes e futuras: o parentesco (SOBER, 1988); fornece, enfim, uma visão unificada de todo o mundo vivo. Desta forma, a evolução se apresenta como um conceito em perfeito cumprimento do critério de heurística para conceitos unificadores da Biologia.

3.2.5.2 A heurística da autopoiese

Em sua formulação do conceito de autopoiese, Humberto Maturana objetivava uma caracterização dos seres vivos independente de suas estruturas, que possibilitasse o reconhecimento daquilo que lhe é particular como totalidade indivisível. Buscava uma descrição capaz de negar o reducionismo e a decomposição extremos do sistema. Em suma, Maturana queria, com sua teoria, fornecer uma verdadeira visão unificada dos sistemas biológicos. Rolf Behncke (1995, p. 40), novamente, reforça:

Surge assim, neste último livro, como que um todo coerente e unificado, uma nova visão sobre os seres vivos e sobre a natureza cognoscitiva do ser humano. Tal obra dá conta explicitamente das seguintes dimensões: o conhecimento, a percepção, a organização tanto do sistema nervoso como de todo ser vivo, a linguagem, a autoconsciência, a comunicação, a aprendizagem, e contém reflexões finais sobre o caminho que essa dimensão abre para a evolução cultural da humanidade como um sistema unitário.

Behncke ainda acrescenta que “...todo o trabalho assinalado forma em conjunto uma trama teórica unificada das ciências da vida...” (1995, p. 41). Fritjof Capra é outro autor que nos fornece informações sobre o potencial unificador da autopoiese. Em *A teia da vida* (CAPRA, 1997), Capra comenta que Maturana possuía, além da questão sobre a organização do vivo, outra pergunta em aberto³⁰: *o que ocorre no fenômeno da percepção?* E que, ao conceber o conceito de autopoiese, forneceu uma resposta única para dois fenômenos até então separados: a vida e a cognição³¹; unificou, assim, dois campos do saber que, antes, eram entendidos a partir de epistemologias diferentes.

Como se pode perceber, o conceito de autopoiese converge, em sua explicação da organização do vivo, todas as manifestações da vida, em sistemas e fenômenos biológicos. É, portanto, um conceito legitimamente heurístico para a Biologia, fornecendo uma verdadeira visão unificada do mundo vivo.

3.2.5.3 A heurística dos ritmos biológicos

Todos os fenômenos vivos (biologicamente relevantes e que não ocorrem por acaso), inclusive a morte (FOSTER & KREITZMAN, 2010) apresentam algum aspecto cíclico. E muitos deles se configuram em verdadeiros ritmos biológicos.

Os ritmos biológicos possuem, já em sua denominação, um forte apelo estético. O termo, ao ser lido ou escutado, pode nos levar a imaginar a “música” tocada pela natureza, em que os fenômenos biológicos se sucedem de forma harmônica, de tal maneira que ficam claras as relações intrínsecas existentes entre as unidades biológicas (os seres vivos) e entre elas e o ambiente (DUNLAP *et al.*, 2004). As oscilações presentes em um organismo podem servir de acopladores rítmicos para oscilações em outros organismos. E da interação e modulação entre

³⁰ Há época (década de 60), Maturana trabalhava com neurociência e, especificamente, com a percepção da cor (CAPRA, 1997).

³¹ “Sistemas vivos são sistemas cognitivos, e a vida como um processo é um processo de cognição. Essa afirmação vale para todos os organismos, com ou sem um sistema nervoso” (MATURANA & VARELA, 1980, p. 13). (Tradução minha)

um e outro ritmo pode surgir um terceiro (ARAÚJO & MARQUES, 2003), emergente em relação àqueles que lhe deram origem.

Halberg e seus colegas (1979) forneceram uma bela visão e um novo entendimento sobre os seres vivos. Para eles, um ser vivo seria o resultado da contribuição harmônica de cada componente seu (formado por redes neurais, hormonais e celulares oscilantes) que participa de sua estrutura temporal, realizando-o como um todo coerente.

O que integra, afinal, os seres vivos (segundo esta epistemologia) são suas relações rítmicas. Sendo assim, uma visão unificadora pode realmente ser alcançada pelo entendimento do mundo vivo como o resultado das relações harmônicas entre ritmos biológicos. Ou seja, os ritmos biológicos obedecem ao critério de heurística para conceitos unificadores da Biologia.

4 REDES CONCEITUAIS

“O que fere a terra fere também os filhos da terra.
O homem não tece a teia da vida; é antes um de
seus fios. O que quer que faça a essa teia, faz a si
próprio.” (Chefe indígena, Seattle, 1855)

No capítulo anterior busquei caracterizar, separadamente, alguns conceitos que considero unificadores da Biologia. E demonstrei que, além de obedecerem aos critérios propostos, todos eles estão relacionados a epistemologias das quais são o próprio fundamento da estrutura. Como a adoção de epistemologias diferentes pode implicar em visões de mundo diferentes, minha hipótese é a de que uma unificação da Biologia ainda mais sólida poderia ser alcançada não por um, mas por uma rede de conceitos; em um sistema conceitual capaz de lidar não só com toda a diversidade de fenômenos e níveis hierárquicos biológicos, mas também com diferentes visões de mundo (BOHM, 1992; CAPRA, 1997; MORIN, 2006).

Mais ainda, as redes seriam formadas não somente por aqueles conceitos unificadores, mas também pelo que chamo de *conceitos condicionais*. Os conceitos condicionais estão diretamente relacionados aos respectivos conceitos unificadores. Seriam como conceitos mais ‘periféricos’; porém, que condicionam o conceito unificador na estrutura da epistemologia da qual ele é parte integrante.

Em outras palavras, ao identificarmos um conceito unificador, sabemos, entre outras coisas, que ele está organizado em uma epistemologia. Há, no entanto, outros conceitos que condicionam, que fornecem os limites e que instrumentalizam o conceito unificador na estrutura da epistemologia. Esses serão chamados de conceitos condicionais.

Sendo assim, quais seriam, então, os conceitos condicionais dos conceitos unificadores propostos? E como eles se articulam com seus respectivos conceitos unificadores, para formar redes conceituais?

Minha proposta é de que o conjunto de conceitos unificadores e condicionais possam formar verdadeiras redes conceituais. Em *Meaningful learning* (2002, p. 551), Joseph Novak afirma que “knowledge stored in our brain consists of networks of concepts and propositions”³². A depender das relações estabelecidas entre os conceitos unificadores e condicionais, teremos níveis (ordens) diferentes de redes, que podem ser instrumentais para se

³² “o conhecimento armazenado em nosso cérebro consiste de redes de conceitos e proposições”. (Tradução minha)

entender os fenômenos biológicos mais fundamentais e fornecer uma visão unificada da Biologia.

4.1 REDES DE 1ª ORDEM

As redes conceituais de 1ª Ordem são aquelas formadas pela correlação entre conceitos unificadores e conceitos condicionais. E como ambas as classes de conceitos (unificadores e condicionais) estão inseridas na mesma epistemologia, podemos dizer que formam uma rede bastante coesa e coerente, capaz de lidar com os fenômenos descritos, fundamentalmente, por aquela forma de entender o mundo. É, portanto, também uma rede que amplia o alcance dialógico e heurístico do conceito unificador na epistemologia em que está inserido.

Sendo assim, quais seriam as redes de 1ª Ordem formadas pelos conceitos unificadores aqui propostos? O objetivo das seções seguintes é exatamente apresentar as redes formadas por cada um dos conceitos unificadores *evolução*, *autopoiese* e *ritmos biológicos* e seus respectivos conceitos condicionais.

4.1.1 Evolução: seleção natural e descendência comum

O conceito de evolução possui como condicionais os conceitos de *seleção natural* e de *descendência comum*. Dentro da epistemologia biológica que possui como conceito unificador a evolução, os conceitos de seleção natural e de descendência comum são estruturantes. Eles articulam, instrumentalizam e expandem o alcance explicativo da evolução para o mundo vivo e entre as teorias biológicas. Afinal, o caráter unificador da evolução é realizado, em grande medida, pelas relações existentes entre ela e os conceitos de seleção natural e de descendência comum.

Importante lembrar aqui que, quando falo em evolução, estou me referindo à seguinte definição do conceito: sobrevivência e reprodução diferencial de classes de sistemas biológicos que se modificam ao longo do tempo. Embora esta não seja uma definição totalmente unânime³³, considero-a suficientemente geral (e, em especial, concordante com a

³³ Estou advertido de que há propostas alternativas tanto para o padrão (CUVIER, 1840; LAMARCK, 1809) quanto para o processo (MATURANA & MPODOZIS, 2000; ARTHUR, 2004) relacionados à evolução. Porém, optei por adotar aqui a epistemologia mais aceita (o darwinismo) e, portanto, a definição mais aceita para o conceito de evolução.

articulação entre o conceito e a epistemologia na qual ele se articula) a ponto de poder utilizá-la aqui e relacioná-la àqueles conceitos condicionais.

Sendo assim, uma rede formada pelos conceitos de evolução, descendência comum e seleção natural pode fornecer uma visão altamente unificada do mundo vivo, permitindo a expansão da capacidade explicativa e instrumental no entendimento dos fenômenos e sistemas biológicos.

4.1.2 Autopoiese: auto-organização, clausura operacional e acoplamento estrutural

Três conceitos são fundamentais na epistemologia biológica criada por Humberto Maturana, para a qual a autopoiese é o conceito unificador: *auto-organização*, *clausura operacional* e *acoplamento estrutural*. O conceito de auto-organização permite que atribuamos aos sistemas autopoieticos a propriedade de se organizarem a partir da manutenção das relações entre suas próprias estruturas. A clausura operacional garante que a “identidade [dos sistemas autopoieticos] está especificada por uma rede de processos dinâmicos cujos efeitos não saem dessa rede.” (MATURANA & VARELA, 1995, p. 124). Finalmente, o acoplamento estrutural se refere à capacidade interacional dos sistemas autopoieticos com outros sistemas autopoieticos ou com o ambiente externo a eles. O acoplamento estrutural ocorre quando a interação que o ser vivo mantém com seu ambiente, por exemplo, é tal que mudanças neste desencadeiam (não determinam nem informam) alterações estruturais naquele e vice-versa; desde que, porém, não ocorra a desorganização (morte) da unidade autopoietica.

Como se pode depreender, a auto-organização, a clausura operacional e o acoplamento estrutural são, concreta e conceitualmente, condições de existência da autopoiese. Afinal, seres vivos, para serem denominados sistemas autopoieticos, são, necessariamente, sistemas auto-organizados, que mantêm acoplamento estrutural como outras unidades (autopoieticas ou não) e cujos processos que os determinam são fechados em relação ao seu entorno. Estes conceitos, portanto, formam uma verdadeira rede conceitual com a autopoiese, capaz de fornecer uma visão altamente heurística e unificada dos fenômenos e sistemas biológicos.

4.1.3 Ritmos biológicos: relógio biológico e acoplamento rítmico

Quando procedemos uma análise nos limites da Cronobiologia, percebemos que dois conceitos condicionam os ritmos biológicos e os instrumentalizam nas explicações sobre o

mundo vivo fornecidas: *relógio biológico* e *acoplamento rítmico*. O relógio biológico é o oscilador endógeno por natureza. Trata-se de um “sistema de temporização auto-sustentado continuamente oscilante” (ROTENBERG, 2003, p. 38) ou ainda de uma “sequência circular de causas e efeitos” (MARQUES, 2003, p. 134). Não há uma única estrutura correspondente a um relógio biológico; mas sua organização se dá em níveis celulares e moleculares (DUNLAP, 2004). O conceito de acoplamento rítmico se refere à interação existente entre o relógio biológico e algum evento ou fenômeno externo a ele e que desencadeia alterações tais em sua estrutura que o sincronizam. Em outras palavras, um ritmo, quando sujeito ao acoplamento rítmico, pode ter suas estruturas (amplitude, período e frequência) alterados; porém, sua organização e, conseqüentemente, manifestação, se mantêm.

Desta forma, tanto o relógio biológico quanto o acoplamento rítmico são conceitos condicionais dos ritmos biológicos. Instrumentalizam-nos, formando com eles uma rede conceitual capaz de dar conta de todos os fenômenos biológicos relacionados à marcação temporal; ou seja, de todos os fenômenos no âmbito da Cronobiologia.

4.2 REDES DE 2ª ORDEM

Enquanto redes conceituais de 1ª Ordem são formadas por conceitos unificadores e seus respectivos conceitos condicionais, as redes de 2ª Ordem dizem respeito às relações entre dois ou mais conceitos unificadores. Se, por um lado, as redes de 1ª Ordem levam-nos a um entendimento mais amplo e heurístico, dentro dos limites de cada uma das epistemologias em que se articulam, as redes de 2ª Ordem ampliam o alcance de entendimento e explicação do mundo, pois ultrapassam os limites dessas mesmas epistemologias.

Ao desfazer as fronteiras das epistemologias e das teorias biológicas, podemos alcançar uma verdadeira e definitiva visão unificada do mundo vivo; que seja, ao mesmo tempo, flexível o suficiente para contemplar variadas concepções a respeito dos sistemas e fenômenos de que tratam. Podemos, enfim, fornecer àqueles que lançarem um olhar curioso à natureza uma visão integral, um verdadeiro *insight* (BOHM, 1980) a respeito da rede (CAPRA, 1997) formada por todas as formas vivas.

5 CONTRAPONTO E PERSPECTIVAS

Considerando que o que esta pesquisa traz é uma proposta, em muitos aspectos, nova, não há dúvida de que apresenta fragilidades e incompletudes. Porém, justamente por ainda ser uma pesquisa em curso e não ter sido publicada, algumas possíveis críticas (à exceção daquelas dirigidas na ocasião da qualificação) e potencialidades serão adiantadas por mim aqui.

Não espero, de forma alguma, esgotar nem críticas nem possibilidades futuras; objetivo simplesmente indicar alguns obstáculos a serem enfrentados e caminhos que poderão, no futuro, ser tomados. Neste sentido, a principal crítica que enxergo ser possível dirigir à proposta da rede de conceitos unificadores está relacionada ao reducionismo. Já adiantei algo sobre esse assunto na seção 1.3; ocasião na qual espero ter sido possível verificar que as classes de reducionismo apresentadas não se referiam diretamente à minha proposta. No entanto, retornarei a essa questão na seção seguinte com o intuito de construir o que considero ser uma genuína crítica aos conceitos unificadores da perspectiva do reducionismo. Chamo, ao menos provisoriamente, a essa classe de reducionismo de *reducionismo conceitual*³⁴.

Com relação às perspectivas de desenvolvimentos futuros, gostaria de destacar duas: a caracterização da Biologia como um sistema conceitual unificado e a formação de uma base teórica sólida para a adoção curricular das redes conceituais. Nas seções finais que se seguem tratarei desses temas em mais detalhes.

5.1 A CRÍTICA DO REDUCIONISMO

Na seção 1.3, ao falar da unificação teórica, introduzi a classificação de reducionismo apresentada por Ernst Mayr (1982): o constitutivo, o explicativo e o teórico. Argumentei, em concordância com Mayr, que algum grau de reducionismo constitutivo e explicativo podem (e frequentemente o são) ser utilizados no estudo, na explicação e na construção de teorias sobre os sistemas e fenômenos biológicos; mas que o reducionismo teórico, além de ontológica e epistemologicamente equivocado, não se mostra capaz de aumentar o poder explicativo e heurístico das teorias.

³⁴ Essa classificação é uma elaboração minha, que ainda demanda análise mais pormenorizada. Porém, que serve aos propósitos aqui desenhados: de servir como fonte de críticas aos conceitos unificadores.

No entanto, gostaria de adicionar à classificação de Mayr mais uma classe de reducionismo: o reducionismo conceitual. E faço isso com o objetivo de dar forma àquilo que pode se configurar exatamente a uma crítica dirigida à minha proposta de unificação conceitual. Este tipo de reducionismo seria a tentativa de substituir, por eliminação ou incorporação total, um conceito (ou mais) por outro. E, ao analisar minha proposta, alguém poderia me acusar de sugerir exatamente isso. Porém, preciso advertir e esclarecer, desde já, que esta não é, de forma alguma, minha proposta.

Não pretendo eliminar outros conceitos ou aspectos das explicações; apenas advogo que a identificação de conceitos centrais, fundamentais, podem fornecer uma visão mais integrada do mundo vivo. Minha proposta aproxima-se mais do antirreducionismo, pois evita tanto o reducionismo quanto o holismo.

Muitas das propostas de unificação caem no universalismo, por praticarem um verdadeiro reducionismo teórico (SIEGEL, 2001). Minha proposta é diferente; não pretendo demonstrar que uma determinada teoria deve ser o paradigma adotado para explicar todo o mundo vivo. Antes, o que proponho é uma unificação através de conceitos; conceitos estes que, como demonstrado e justificado anteriormente³⁵, sobrevivem às teorias, são transversais a elas.

El-Hani (2000) propõe uma atitude antirreducionista para escapar ao holismo e ao reducionismo. Justifica sua proposta argumentando que sistemas emergentes devem sua qualidade justamente às relações entre as partes (ou estruturas) e entre estas e o todo que formam. Para tanto, introduz a ideia, proposta por Stanley Salthe (1985), de estrutura hierárquica triádica das explicações. Segundo Salthe, qualquer sistema deve ser explicado considerando-se três de seus níveis hierárquicos imediatamente implicados: o nível focal, o nível inferior e o nível superior. Em outras palavras, ao se proceder a explicação de um fenômeno, é necessário que sejam explicados os níveis hierárquicos imediatamente inferior (e que, portanto, o compõe) e superior (portanto, que o engloba) a este fenômeno. Somente assim, segundo ele, um fenômeno poderia ser satisfatoriamente explicado.

El-Hani, então, utiliza essa classificação para argumentar em favor de um certo pragmatismo nas explicações científicas, em particular naquelas relacionadas à educação científica. Para ele, a atitude mais coerente seria a apresentada pelo antirreducionismo. Essa concepção considera tanto as partes e os todos quanto as relações existentes entre estes e aquelas. O antireducionismo aceita, e sugere, procedimentos analíticos (reducionistas) para explicações de sistemas mais complexos. Porém, não sem que se leve em consideração,

³⁵ Ver a seção 2.3.

também, que aquelas partes surgidas durante a análise são, de fato, partes de um todo; e, portanto, existem em relação a este todo, da mesma maneira que o todo deve sua existência às partes que o constituem.

Em grande medida, preciso concordar com El-Hani e confirmar que a atitude antirreducionista deve ser estimulada na explicação, especialmente de fenômenos e sistemas tão complexos quanto aqueles no âmbito da Biologia. Porém, gostaria de sugerir uma atitude diferente: uma atitude unificadora. Esta postura (metodológica) seria caracterizada pela busca, exposição, teste epistemológico e utilização explicativa daquilo que é comum entre as explicações, teorias e epistemologias biológicas. Uma atitude como esta ainda guardaria a virtude, demonstrada pelo antirreduccionismo, de evitar tanto o holismo quanto o reduccionismo extremos³⁶ e inférteis.

5.2 A BIOLOGIA COMO SISTEMA CONCEITUAL UNIFICADO

A postura unificadora sugerida na seção anterior, mais do que uma outra denominação para antirreduccionismo, seria melhor classificada como um tipo de visão sistêmica, da forma apresentada por Mário Bunge (2003). Segundo Bunge, a visão sistêmica (em suas palavras, *sistemismo*) tem a capacidade de nos fazer notar tanto os sistemas como unidades indivisíveis quanto seus componentes. Dessa forma, escapa tanto ao holismo quanto ao reduccionismo. Partindo dessa perspectiva, podemos afirmar que os conceitos unificadores (bem como as redes que eles compõem) permitem o trânsito entre teorias e entre níveis hierárquicos, indo do micro ao macro nos sistemas e fenômenos biológicos.

Foi Ludwig von Bertalanffy (1968) quem forneceu uma das primeiras definições de sistema. Para ele, um sistema é um complexo de elementos interagindo, no qual o comportamento de um elemento em uma interação com outro elemento do complexo é diferente da que ele exibiria em relação a um terceiro; e ainda que “the characteristics of the complex, therefore, compared to those of the elements, appear as ‘new’ or ‘emergent’”³⁷ (BERTALANFFY, 1968, p. 55). Podemos verificar que, ao proceder com a aplicação das redes conceituais, há o surgimento de novas relações, a depender dos elementos da rede (conceitos) considerados. E cada uma dessas relações são instrumentais na explicação de fenômenos e sistemas biológicos.

³⁶ Incluindo o reduccionismo conceitual, aqui introduzido.

³⁷ “as características do complexo, portanto, comparadas às dos elementos, aparecem como ‘novas’ ou ‘emergentes’”. (Tradução minha)

No âmbito da Biologia, dois autores nos fornecem uma descrição do que seria uma visão (ou pensamento) sistêmica: Humberto Maturana e Fritjof Capra. Em um artigo intitulado *The organization of the living*, Maturana apresenta sua definição para o conceito de unidade. Para Maturana (1999, p. 151),

A unity is any entity (concrete or conceptual) separated from a background by a concrete or conceptual operation of distinction. A unity may be treated as an unanalyzable whole endowed with constitutive properties, or as a composite entity with properties as a unity that are specified by its organization and not by the properties of its components.³⁸

Da forma como é definido, o conceito de unidade cumpre um papel fundamental na teoria sobre o ser vivo de Maturana: a teoria da autopoiese. Pois, como mencionado anteriormente, a autopoiese se refere a sistemas (biológicos) que, tais como unidades, são especificados por sua organização como sistemas. E essa definição é compartilhada por Fritjof Capra, em sua ‘visão sistêmica da vida’³⁹. Para ele, a visão sistêmica “implies looking at a living organism in the totality of its mutual interactions.”⁴⁰ (CAPRA, 2014, p. 130).

Recordo aqui um trecho do livro *A ontologia da realidade*, em que Maturana nos fornece uma bela visão, ao descrever algumas de suas reflexões quando se encontrava internado em um hospital de Putaendo, no Chile, para tratar de uma tuberculose (MATURANA, 2002, p. 41):

Eu fazia essas reflexões [...]. Vi a preparação da terra, a semeadura, o crescimento do trigo, a maturação, a colheita, a nova aragem. Eu estava imerso nessa dinâmica, vivia o dia-a-dia vendo a transformação da paisagem, uma situação cíclica. Eu vi o ciclo ao final. Mas eu já o imaginava.

Maturana afirma que essa observação inspirou-o na construção de sua teoria da autopoiese. Interessante notar que de eventos cíclicos, repetitivos, rítmicos veio a inspiração para a concepção do que vem a ser a organização (autopoiese) dos seres vivos. Como se pode ver, talvez possamos dizer que Maturana encontrou uma bela metáfora para as relações entre ritmos biológicos e autopoiese (embora não a tenha expressado nesses termos), dois dos conceitos propostos aqui como unificadores.

³⁸ “Uma unidade é qualquer entidade (concreta ou conceitual) separada de um fundo por uma operação de distinção concreta ou conceitual. Uma unidade pode ser tratada como um todo não analisável dotado de propriedades constitutivas, ou como uma entidade composta com propriedades como uma unidade que são especificadas por sua organização e não pelas propriedades de seus componentes.” (Tradução minha)

³⁹ Parfraseando o título de seu livro: *The systems view of life: a unifying vision*, de 2014.

⁴⁰ “implica olhar para um organismo vivo na totalidade de suas interações mútuas”. (Tradução minha)

Cristina Magro, uma professora aposentada pela Universidade Federal de Minas Gerais, e que trabalhou diretamente com Humberto Maturana, afirma que, no caso específico da definição do ser vivo, a abordagem sistêmica apresenta-se como a melhor alternativa. Segundo ela, a proposta sistêmica permite evitar o reducionismo radical, compreende a noção de emergência e permite tratar a dinâmica dos sistemas no meio em que interagem, revelando sua evolução constante (MAGRO, 2002).

Um dos meus objetivos para a continuação desta pesquisa em incursões futuras (como um projeto de doutorado, por exemplo) será justamente caracterizar as redes conceituais como uma unidade, um verdadeiro sistema (nos moldes aqui desenhados) conceitual, capaz de lidar com os diversos fenômenos e sistemas biológicos, em todos os níveis hierárquicos. E o caminho que tomarei para realizá-lo será o de explorar as relações existentes entre os conceitos unificadores, bem como entre eles e os conceitos condicionais com os quais formam as redes conceituais.

5.3 O POTENCIAL PEDAGÓGICO DOS CONCEITOS UNIFICADORES

Às vezes, de repente, bate-me a Natureza de chapa
 Na cara dos meus sentidos,
 E eu fico confuso, perturbado, querendo perceber
 Não sei bem como nem o quê [...] ⁴¹

O fundamento deste trabalho é, claramente, teórico; e com foco essencialmente na estrutura do conhecimento biológico, da Biologia enquanto forma de entender as manifestações do mundo vivo. E, embora eu a tenha tangenciado levemente ao longo do texto, não foi escopo desta pesquisa a transposição necessária da proposta à educação científica ou ao ensino de ciências⁴². Porém, parece-me óbvia a consideração de tal adequação. E isso devido, principalmente, a três fatores: 1. minha atuação profissional; 2. a natureza do programa de pós-graduação no qual a pesquisa se insere; e 3. a quase inferência, a partir de uma proposta que pretende fornecer maior heurística a quem se dedica a entender o mundo vivo, de se proceder a investigação de seu potencial pedagógico.

⁴¹ Trecho do poema O Guardador de Rebanhos, de Alberto Caeiro, pseudônimo de Fernando Pessoa (2013, p. 56).

⁴² Não me deterei aqui nas possíveis diferenciações que possam existir entre uma e outra denominação.

Sou docente das disciplinas de Ciências e de Biologia há cerca de 21 anos. Neste tempo, enredei-me em reflexões constantes sobre como eu entendo e como meus estudantes entendem o mundo natural. Este foi, sem dúvida, meu ponto de partida para a pesquisa e, em especial, para a proposta de conceitos unificadores da Biologia que ora se apresenta.

Um outro fator fundamental para que seja sugerida uma transposição didática da proposta é sua inserção, no contexto acadêmico, no Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo. E embora uma efetiva proposta pedagógica não tenha sido desenvolvida aqui, a preocupação com a educação científica é legítima. No entanto, cabe ressaltar que uma transposição didática só pode ser efetivada se, antes, for apresentada a proposta teórica. Ocorre que a proposta aqui fornecida, por ser original, demandou esforços e tempo de pesquisa suficientes para ocupar o período de um curso de Mestrado. Dessa forma, uma vez formada a base teórica da proposta, poderei me dedicar, em pesquisa futura, à sua transposição para o ensino.

Finalmente, o último fator relevante para se considerar aplicar à educação a ideia dos conceitos unificadores é o fato de que, se foi possível demonstrar que eles fornecem maior capacidade explicativa e uma visão mais integrada do mundo vivo, podemos inferir que também possuem um grande potencial pedagógico. O potencial de provocar o entendimento do mundo vivo por parte dos estudantes não somente pela razão, mas através da imaginação criativa (DAMÁSIO, 2012), da formação de uma visão realmente unificadora (CAPRA, 2014) de todo o mundo vivo.

Minha hipótese é de que seria possível formar as bases teóricas, inclusive, para a construção de um currículo a partir das redes conceituais. Tentarei investigar essa possibilidade. Trata-se, de fato, de um grande desafio; para o qual me sinto não somente disposto, mas também preparado. Dada a fragmentação (tanto epistemológica quanto didática) com a qual se apresenta o conhecimento científico atualmente, será interessante imaginar como estudantes poderão construir uma visão integral do mundo vivo a partir das redes conceituais.

REFERÊNCIAS⁴³

- ADLER, M. J. (ed.). **The great ideas: A Syntopicon of Great Books of Western World**. v. II. Chicago: William Benton, 1923.
- ANDRADE, M. M. M.; MENNA-BARRETO, L.; LOUZADA, F. Ontogênese da ritmicidade biológica. *In: MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (org.). CronoBiologia: princípios e aplicações*. São Paulo: EDUSP, pp. 247-267, 2003.
- ANGOTTI, J. A. P. **Fragmentos e Totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências**. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- ARAÚJO, J. F. & MARQUES, N. Intermodulação de frequências dos ritmos biológicos. *In: MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (org.). CronoBiologia: princípios e aplicações*. São Paulo: EDUSP, pp. 99-117, 2003.
- ARAÚJO, L. A. L. A evolução como tema central e unificador no ensino de biologia: questões históricas e filosóficas. **Filosofia e História da Biologia**, v. 14, n. 2, p. 229-250, 2019.
- ARTHUR, W. **Biased embryos and evolution**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- BAAS, N. A. Emergence, hierarchies, and hyperstructures. *In: LANGTON, C. G. (ed.). Artificial Life III*. Santa Fe Studies in the Sciences of Complexity, vol. XVII. Redwood City: Addison-Wesley, 1994.
- BACHELARD, G. **A filosofia do não**. Joaquim José Moura Ramos et al. (trad.). (Os Pensadores). São Paulo: Abril Cultural, 1978.
- BACHELARD, G. **A epistemologia**. Fátima Lourenço Godinho e Mário Carmino Oliveira (trad.). Lisboa: Edições 70, 2006.
- BECKERMANN, A. (ed.). **Emergence or reduction?: Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism**. Berlin: Walter de Gruyter, 1992.
- BEHNCKE, R. Prefácio. *In: MATURANA, H.; VARELA, F. A árvore do conhecimento: as bases biológicas do entendimento humano*. Jonas Pereira dos Santos (trad.). Campinas: Psy II, 1995.
- BERTALANFFY, L. v. **General system theory: foundations, development, applications**. New Yorke: George Braziller, 1968.
- BOHM, D. **Wholeness and the implicate order**. London/New York: Routledge, 1980.
- BOHM, D. **Thought as a system**. London/New York: Routledge, 1992.

⁴³ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

BRANDON, R. Does biology have laws? **Philosophy of Science**, 64 (Proceedings): S444-S457, 1997.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BUNGE, M. **Emergence and convergence**: qualitative novelty and the unity of knowledge. Toronto/Buffalo/London: University of Toronto Press, 2003.

CAPONI, G. A. Explicación selectcional y explicación funcional: la teleología en la biología contemporánea. **Episteme**, Porto Alegre, n. 14, p. 57-88, jan./jul., 2002.

CAPONI, G. A. Funcionalismo cuvieriano vs adaptacionismo darwiniano: consideraciones sobre la noción de condiciones de existencia. **Episteme**, Porto Alegre, n. 22, pp. 79-99, jul/dez, 2005.

CAPONI, G. A. El concepto de organización en la polémica de los análogos. **Revista da SBHC**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, pp. 34-54, jan/jun, 2006.

CAPONI, G. A. La filosofía de la biología y el futuro de la biología evolucionaria. **Ludus Vitalis**, vol. XV, n. 28, pp. 199-202, 2007.

CAPRA, F. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. Newton Roberval Eicheberg (trad.). São Paulo: Cultrix, 1997.

CAPRA, F.; LUISI, P. L. **The systems view of life**: a unifying vision. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

CHALMERS, A. **O que é ciência, afinal?** Raul Filker (trad.). Brasília: Editora Brasiliense, 1993.

CHEDIAK, K. Função e explicações funcionais em biologia. In: ABRANTES, P. C. (org.). **Filosofia da Biologia**, Rio de Janeiro: PPGFIL-UFRRJ, 2018.

CUVIER, G. **Animal kingdom**: arranged according to its organization. London: Baker & Darby, 1840.

DAMÁSIO, A. **O erro de Descartes**: emoção, razão e o cérebro humano. Dora Vicente e Georgina Segurado (trad.). São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

DARWIN, C. **The origin of species**: by means of natural selection. London: John Murray, 1872.

DARWIN, C. [1872]. A origem das espécies. Pedro Paulo Pimenta (trad.). São Paulo: Ubu, 2018.

DAWKINS, R. **El gen egoísta**. Barcelona: Salvat, 1993.

DAWKINS, R. **The ancestor's tale**: a pilgrimage to the dawn of life. London: Weidenfeld & Nicolson, 2004.

DAWKINS, R. **Deus, um delírio**. Fernanda Ravagnani (trad.). São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

DENNETT, D. C. **Darwin's dangerous idea: evolution and the meanings of life**. New York: Penguin, 1995.

DESCARTES, R. **Discurso do método** [1637]. Maria Ermantina Galvão (trad.). 2ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

DESMOND, A. MOORE, J. **Darwin: a vida de um evolucionista atormentado**. São Paulo: Geração Editorial, 1995.

DOBZHANSKY, T. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. **The American Biology Teacher**, 35: (March): 125-129, 1973.

DUNLAP, J. C.; LOROS, J. J.; DECOURSEY, P. J. (ed.) **Chronobiology: biological timekeeping**. Sunderland/Massachusetts: Sinauer Associates, 2004.

EL-HANI, C. N. **Níveis da ciência, níveis da realidade: evitando o dilema holismo/reduccionismo no ensino de ciências e biologia**. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

EMMECHE, C.; EL-HANI, C. N. Definindo vida, explicando emergência. **Série Ciência e Memória**, CNPQ/ON, Coordenação de Informação e Documentação, nº 02/99, 1999.

EMMECHE, C.; EL-HANI, C. N. Definindo vida. *In*. **O que é vida?: para entender a Biologia do século XXI**. EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (org.). Rio de Janeiro: Relume Dumará, pp. 31-56, 2000.

FERNANDEZ, J. Life as emergence: the roots of a new paradigm in theoretical biology. **World Futures, The Journal of General Evolution**, 32:133-149, 1991.

FEYERABEND, P. **Contra o método**. Octanny Mata e Leonidas Hegenberg (trad.). Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977.

FILHO, W. S. G. **A autopoiese do direito na sociedade informacional**. 2ª ed. São Paulo: Lumens Juris, 2018.

FOSTER, R.; KREITZMAN, L. **Seasons of life**. London: Profile Books, 2010.

FOSTER, R.; KREITZMAN, L. **Rhythms of life: the biological clocks that control the daily lives of every living thing**. London: Profile Books, 2011.

GLEISER, M. **A dança do Universo: dos mitos de criação ao Big Bang**. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

GOLOMBEK, D. A.; AGUILAR-ROBLERO, R. Mecanismos de temporização nos vertebrados. *In*: MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (org.). **Cronobiologia: princípios e aplicações**. São Paulo: EDUSP, pp. 163-190, 2003.

GOULD, S. J. Evolution: the pleasures of pluralism. **The New York Review of Books**, 44 (11): 47-52, 1997.

GOULD, S. J. **The structure of evolutionary theory**. Cambridge/London: Belknap, 2002.

HALBERG, F.; HALBERG, E. & HALBERG, J. Collateral-interacting hierarchy of rhythm coordination at different organization levels, changing schedules and aging. *In*: SUDA, M.; HAYAISHI, O. & NAKAYAWA, H. (org.). **Biological rhythms and their central mechanism**. Amsterdam: Biomedical Press, 1979.

HAWKING, S. **The theory of everything: the origin and fate of the Universe**. Beverly Hills: Phoenix Books, 2005.

HAWKING, S.; MLODINOW, L. **The grand design**. New York: Bantam Books, 2010.

HOLTON, G. **Thematic origins of scientific thought: Kepler to Einstein**. Rev. ed. Cambridge/London: Harvard University Press, 1988.

HULL, D. **Philosophy of Biological Science**. New Jersey: Prentice Hall, 1974.

HUXLEY, J. **Evolution: the modern synthesis**. 5^a ed. London: George Allen & Unwin Ltd., 1948.

KOUKKARI, W. L.; SOUTHERN, R. B. 2006. **Introducing Biological Rhythms: a primer on the temporal organization of life, with implications for health, society, reproduction and the natural environment**. New Yorke: Springer, 2006.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira (trad.), 5^a ed. São Paulo: Perspectiva, 1970.

KUMAR, V. (ed.). **Biological timekeeping: clocks, rhythms and behaviour**. New Delhi: Springer, 2017.

LAKATOS, I. **The methodology of scientific research programmes**. Cambridge: Cambridge University Press, 1978. v. I.

LAMARCK, J. B. [1809]. **Zoological Philosophy: an exposition with regard to the natural history of animals**. London: Macmillan and Co., 1914.

LEONARD, T. C. Origins of the myth of social darwinism: the ambiguous legacy of Richard Hofstadter's social darwinism in american thought. **Journal of Economic Behavior & Organization**, 71: 37-51, 2009.

LOPES, P. F.; MARQUES, N.; PINTO, E.; COLEPICOLO, P. Organização celular e molecular dos ritmos biológicos. *In*: MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (org.). **Cronobiologia: princípios e aplicações**. São Paulo: EDUSP, pp. 223-245, 2003.

LORENZ, K. **On aggression**. London/New York: Routledge, 1963.

LOVELOCK, J. **Gaia**: a new look at life on earth. Oxford/New Yorke: Oxford University Press, 2000.

MAGRO, C. **Café com Maturana**. Belo Horizonte: E-book, 2002.

MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (org.). **CronoBiologia**: princípios e aplicações. São Paulo: EDUSP, 2003.

MARQUES, M. D. Evolução da ritmicidade biológica. *In*: MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (org.). **CronoBiologia**: princípios e aplicações. São Paulo: EDUSP, pp. 269-280, 2003a.

MARQUES, M. D. Mecanismos de temporização em unicelulares, plantas e invertebrados. *In*: MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (org.). **CronoBiologia**: princípios e aplicações. São Paulo: EDUSP, pp. 133-161, 2003b.

MARQUES, M. D.; GOLOMBECK, D.; MORENO, C. Adaptação temporal. *In*: MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (org.). **CronoBiologia**: princípios e aplicações. São Paulo: EDUSP, pp. 55-98, 2003.

MARTINS, L. A. C. P. Lamarck e a progressão da escala animal. **Filosofia e História da Biologia**, v. 8, n. 3, p. 569-586, 2013.

MARTÍNEZ, S.; BARAHONA, A. (org.). **Historia y explicación en biología**. Mexico: Fondo de Cultura Económica, 1998.

MATURANA, H.; VARELA, F. **Autopoiesis and Cognition**: the realization of the living. Dordrecht/Boston/London: D. Reidel, 1980.

MATURANA, H.; VARELA, F. **A árvore do conhecimento**: as bases biológicas do entendimento humano. Jonas Pereira dos Santos (trad.). Campinas: Editorial Psy II, 1995.

MATURANA, H. The organization of the living: a theory of the living organization. **Int. J. Human-Computer Studies**, n. 51, 149-168, 1999.

MATURANA, H; MPODOZIS, J. The origin of species by means of natural drift. **Revista chilena de Historia Natural**, 73: 261-310, 2000.

MATURANA, H. **A ontologia da realidade**. MAGRO, C.; GRACIANO, M.; VAZ, N. (org.). Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.

MATURANA, H.; VARELA, F. **De máquinas y seres vivos**: autopoiesis: la organización de lo vivo. 6ª ed. Buenos Aires: Lumen, 2003.

MAYR, E. **The growth of biological thought**: diversity, evolution and inheritance. Cambridge: The Belknap Press, 1982.

MAYR, E. Causa y efecto en biología. *In*: MARTÍNEZ, S.; BARAHONA, A. (org.). **Historia y explicación en biología**. Mexico: Fondo de Cultura Económica, 1998.

MAYR, E. **Biologia, ciência única**. Marcelo Leite (trad.). São Paulo: Companhia das letras, 2001.

MAYR, E. The autonomy of biology. **Ludus Vitalis**, vol. XII, num. 21, pp. 15-27, 2004.

MEGLHIORATTI, F. A. **O conceito de organismo**: uma introdução à epistemologia do conhecimento biológico na formação de graduandos de biologia. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) - Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2009.

MEYER, D. EL-HANI, C. N. **Evolução**: o sentido da Biologia. São Paulo: Ed. UNESP, 2005.

MOREIRA, M. A. A epistemologia de Maturana. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 597-606, 2004.

MORIN, E. From the concept of the system to the paradigm of complexity. **Journal of Social and Evolutionary Systems**, 15(4): 371-385, 1992.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Eliane Lisboa (trad.). Porto Alegre: Meridional, 2005.

MORIN, E. **El Método 2**: la vida de la vida. 7ª ed. Ana Sánchez (trad.). Madrid: Catedra, 2006.

NETO, J. C. M. **Morte e vida severina**. Rio de Janeiro: Alfaguara, 1955.

NEURATH, O.; CARNAP, R. (ed.). **International encyclopedia of unified science**. Chicago: The University of Chicago Press, 1955.

NOVAK, J. D. Meaningful learning: the essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. **Science Education**, 86(4): 548 - 571, 2002.

PESSOA, F. **Poemas completos de Alberto Caetano**. Carlos Felipe Moisés (org.). 2ª ed. São Paulo: Ática, 2013.

PIMENTA, P. P. O grande livro de Charles Darwin. *In*: DARWIN, Charles. **A origem das espécies** [1872]. Pedro Paulo Pimenta (trad.). São Paulo: Ubu, 2018.

PLATÃO. **Mênon** [385 a.C.]. Texto estabelecido e anotado por John Burnet; tradução de Maura Iglésias. Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio, 2001.

PRIGOGINE, I. STENGERS, I. **La nueva alianza**: metamorfosis de la ciencia [1979]. María Cristina Marín Sanz (trad.), 2ª ed. Madrid: Alianza, 2004.

RAMOS, G. As perguntas antes das respostas. *In*: VAZ, N. et al. **Onde está o organismo?**: derivas e outras histórias na biologia e imunologia. Florianópolis: Editora UFSC, pp. 17-22, 2011.

- RICHARDSON, R. C. Complexity, self-organization and selection. **Biology and Philosophy**, 16: 655-683, 2001.
- ROTENBERG, L.; MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. História e perspectivas da Cronobiologia. *In*: MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (org.). **CronoBiologia: princípios e aplicações**. São Paulo: EDUSP, pp. 31-53, 2003.
- RUSE, M. **The Philosophy of Biology**. Hutchinson: London, 1979.
- RUSE, M. **Charles Darwin**. Malden/Oxford/Carlton: Blackwell, 2008.
- RUSE, M. **The Gaia hypothesis: science on a pagan planet**. Chicago/London: The University of Chicago Press, 2013.
- SALTHER, S. **Evolving hierarchical systems: their structure and representation**. New York: Columbia University Press, 1985.
- SHAROV, A. Self-producing systems: structure, niche relations and evolution. **BioSystems**, 25: 237-249, 1991.
- SHAROV, A. Semiosis in self-producing systems. *Computing Anticipatory Systems 1999, Proceedings 1999*.
- SIEGEL, S. Multiculturalism, universalism, and science education: in search of common ground. Wiley Periodicals, Inc. *Science Education*, 86: 803– 820, 2001.
- SILVA, H. G. **Biologia do conhecer: fundamentos de uma teoria biointeracionista sobre a cognição para ensino de ciências da natureza**. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- SMOLIN, L. **The life of the cosmos**. New Yorke/Oxford: Oxford University Press, 1997.
- SOBER, E. **Reconstructing the Past: Parsimony, Evolution, and Inference**. Cambridge: Bradford/MIT Press, 1988.
- SOBER, E. **Philosophy of biology**. Oxford: Westview Press, 2000.
- TOULMIN, S. **Foresight and understanding: an enquiry into the aims of science**. London: Hutchinson, 1961.
- TOULMIN, S. **Human understanding: Volume I (General Introduction and Part I)**. London: Oxford University Press, 1972.
- TOULMIN, S. The idol of stability. **The Tanner Lectures on Human Values**. University of Southern California, Feb. 9-11, 1998.
- VAL, F. C. O tempo no estudo de evolução. *In*: MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (org.). **CronoBiologia: princípios e aplicações**. São Paulo: EDUSP, pp. 281-295, 2003.
- WILSON, E. O. **Consilience: the unity of knowledge**. New York: Vintage Books, 1998.