

UM OLHAR EPISTEMOLÓGICO SOBRE A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DA TEORIA GAIA¹

(An epistemological perspective on the didactical transposition of Gaia theory)

Marina de Lima-Tavares

Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências – UFBA/UEFS

Charbel Niño El-Hani

Instituto de Biologia – UFBA. Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências – UFBA/UEFS. Mestrado em Ecologia e Biomonitoramento - UFBA

Resumo

Este trabalho, que é parte de um projeto mais amplo, no qual se analisa a cientificidade da teoria Gaia, pretende contribuir para uma apreciação crítica do papel que esta poderia desempenhar no ensino de Biologia e no tratamento do tema transversal “meio ambiente”. A teoria Gaia propõe que a biosfera atua como um sistema adaptativo de controle, mantendo a Terra em homeostase. Alguns autores têm proposto, nos últimos anos, que esta teoria seja incorporada ao conhecimento escolar. Ela já se encontra, inclusive, em livros didáticos de Biologia do ensino médio publicados no Brasil. Neste artigo, levantamos o problema da cientificidade desta teoria, considerando que sua transposição didática deve estar apoiada numa demonstração prévia de sua natureza científica. Analisamos uma das razões pelas quais a comunidade científica tem visto com suspeita a teoria Gaia, a proposição de que a Terra é um ser vivo, examinando suas conseqüências para uma apreciação de sua cientificidade, bem como da possibilidade de sua transposição para o conhecimento escolar. Os proponentes desta teoria acreditam que ela torna possível caracterizar a Terra como um ser vivo. Esta proposição, entretanto, não é justificada por uma análise do conceito de ‘vida’ ou ‘ser vivo’. Neste trabalho, a proposição de que a Terra é um sistema vivo é analisada à luz de definições de vida encontradas em três paradigmas biológicos: a teoria neodarwinista da evolução, a teoria da autopoiese e a biossemiótica. Esta análise mostra que: (i) a proposição de que a Terra é um ser vivo *certamente* não pode ser sustentada com base na biologia evolutiva neodarwinista; (ii) é *possível*, mas *provavelmente difícil*, fundamentá-la com base na biossemiótica; (iii) a teoria autopoietica oferece, em princípio, a *melhor oportunidade* para caracterizar-se a Terra como um ser vivo, *mas* trata-se, ainda assim, de uma *proposição controversa*. A transposição didática da teoria Gaia poderia ser feita de maneira mais apropriada, bem como sua testabilidade e seu conteúdo empírico seriam mais adequadamente enfatizados, se a asserção de que a Terra é viva fosse claramente separada de seu núcleo duro ou até mesmo eliminada.

Palavras-chave: Gaia; Vida; Ensino de Biologia; Meio ambiente; Cientificidade.

Abstract

This paper is part of larger scope project in which the scientificity of the Gaia theory is analysed, intending to contribute towards a critical appraisal or the role that such a theory might have in biology teaching and in approaching the "environment" transversal theme.

¹ Este artigo foi elaborado a partir do trabalho defendido por Marina de Lima-Tavares para a conclusão do curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da UFBA (Lima-Tavares 2000). Ver tb. El-Hani & Lima-Tavares (2001).

The Gaia theory proposes that the biosphere acts as an adaptive control system, keeping the earth in homeostasis. Some authors have proposed that this theory should be incorporated in the school curriculum. In Brazil, it already appears in some biology textbooks. The scientificity of this theory is questioned in this paper, given that its didactical transposition should be supported by a previous demonstration of its scientific nature.

Key-words: Gaia; life; biology teaching; environment; scientificity.

Introdução

A teoria² Gaia tem despertado desde a década de 1970 uma reação entusiástica de grupos ambientalistas e espiritualistas. Mais recentemente, a resistência a esta teoria na comunidade científica foi em parte vencida e uma quantidade crescente de pesquisadores de diversos campos do conhecimento tem dedicado-se à sua articulação teórica e ao teste empírico de suas implicações. Não causa espanto, assim, que alguns autores tenham proposto, nos últimos anos, o uso da teoria Gaia no contexto escolar (Baker 1993, McGuire 1993, Haigh 2001. Ver tb. Johnson 1983). Livros didáticos de Biologia do ensino médio publicados no Brasil já têm dedicado seções específicas à discussão desta teoria (e.g. Amabis & Martho 1997; Marczewski & Vélez 1999).

Contudo, para defender-se a transposição didática da teoria Gaia para o ensino de Biologia, é preciso examinar em que medida ela pode ser considerada uma teoria científica. Trata-se, afinal, de uma teoria que foi por muito tempo rejeitada por grande parte dos cientistas, chegando a ser citada como exemplo de anticiência ou pseudociência (e.g. Postgate 1988). Coloca-se assim a preocupação de que ela possa favorecer uma confusão entre explicações científicas de fenômenos como a regulação do clima e da composição atmosférica da Terra e proposições não-científicas, resultando em dificuldades para a demarcação dos conteúdos de natureza científica no âmbito do conhecimento escolar.

Em nossa visão, o conhecimento escolar na área das ciências tem como parâmetro necessário o conhecimento aceito de maneira consensual pela comunidade científica de uma dada época, a partir do qual será feita a transposição de conceitos, teorias, hipóteses etc. para o contexto das escolas. Nesses termos, se a cientificidade da teoria Gaia não puder ser defendida de maneira convincente, será difícil justificar sua transposição didática para o ensino de Biologia e para pelo menos uma parte das discussões sobre o meio ambiente nas escolas. Esta foi uma das questões que nos levaram a iniciar uma análise epistemológica desta teoria (Lima-Tavares 2000; El-Hani & Lima-Tavares 2001).

O conceito de ‘transposição didática’ tem sido objeto de discussão profícua numa diversidade de trabalhos (e.g. Astolfi & Develay 1991, Forquin 1993, Lopes 1997a,b). No entanto, limitaremos nossa argumentação no presente artigo, de modo a não perder de vista seu escopo, a alguns pontos de concordância com Chevallard (1991) que fornecem apoio à

² Lovelock usa de maneira indiscriminada os termos metateóricos ‘hipótese’ e ‘teoria’ para referir-se a Gaia. Entendemos uma teoria como um sistema ou uma estrutura (Kuhn 1996, Lakatos 1979, Chalmers 1995), i.e., como um conjunto de elementos que estabelecem relações entre si. Os elementos que compõem uma teoria incluem, entre outros, princípios explicativos, leis empíricas, suposições metafísicas, hipóteses, descrições, métodos, técnicas. Uma teoria cumpre o papel de explicar um fenômeno ou padrão observado mediante a elucidação dos mecanismos ou processos responsáveis por sua produção ou causação. Entendemos hipóteses, por sua vez, como tentativas de responder a uma questão ou um problema definido, ou, nas palavras de Campbell (1996), uma “explicação em julgamento”. Nesses termos, parece-nos mais correto considerar Gaia uma teoria, e não uma hipótese. Assim, utilizaremos neste artigo o termo ‘teoria’ para referir-se a Gaia, restringindo o uso da expressão ‘hipótese Gaia’ às citações de outros trabalhos, quando não for possível evitá-la.

idéia de que o conhecimento científico consensual de uma dada época constitui uma base necessária para o conhecimento escolar na área das ciências.

A tarefa de pensar o objeto da didática se configura, para Chevallard, com base num sistema ou numa relação contendo três elementos, o professor, os alunos e o saber ensinado. Uma das questões fundamentais da didática se coloca, então, relativamente ao saber ensinado, um elemento “curiosamente esquecido” que não pode ser excluído da problemática da didática (Chevallard 1991:15): Como se relacionam o saber ensinado e o ‘saber sábio’? O conceito de transposição didática constitui um elemento para responder-se a esta pergunta, na medida em que se refere à passagem do saber sábio ao saber ensinado (Chevallard 1991:22). Para que o ensino de um determinado elemento do conhecimento seja possível, é preciso que este sofra certas transformações que tornem viável ensiná-lo no contexto escolar. O saber ensinado é necessariamente distinto do saber sábio (Chevallard 1991:16-17). Não há, contudo, autonomia completa dos sistemas didáticos no que concerne ao saber que deve ser ensinado.

A idéia de que o conhecimento científico consensual é uma base necessária do conhecimento escolar na área das ciências está relacionada à tese de que o sistema didático, incluindo o saber ensinado, não é produto apenas da vontade dos docentes. Um dos requisitos para o funcionamento do sistema didático é o de que o saber ensinado satisfaça certos critérios específicos. Defendemos que um critério que não pode ser perdido de vista, no ensino de qualquer ciência, é o da coerência entre o saber ensinado e o conhecimento estabelecido num dado campo do conhecimento científico, numa dada época. Os argumentos de Chevallard oferecem apoio a esta visão. O conceito de transposição didática se refere às relações entre o saber ensinado e o saber a ensinar, cujo significado normativo se torna claro quando Chevallard (1991:17) se refere a ele como o “saber-inicialmente-designado-como-o-que-deve-ser-ensinado” (grifo nosso). O saber ensinado deriva do saber sábio por designação, não podendo ser esquecido como objeto de referência, fonte de normatividade e fundamento de legitimidade (Chevallard 1991:17-18). De outro modo, o saber ensinado será “um saber exilado de suas origens e separado de sua própria produção histórica na esfera do saber sábio, legitimando-se, enquanto saber ensinado, como algo que não é de nenhum tempo e lugar, ao invés de legitimar-se mediante o recurso à autoridade de um produtor [...]” (Chevallard 1991:18). A questão da adequação do saber ensinado sempre se coloca e um dos critérios para julgar-se esta adequação reside, em nossa visão, em sua coerência com o conhecimento científico estabelecido. Não é concebível, da perspectiva em que compreendemos o ensino das ciências, que o saber ensinado, mesmo considerando-se sua necessária diferença relativamente ao saber sábio, não guarde uma relação significativa com o conhecimento científico estabelecido. Afinal, é desta relação que o saber ensinado deriva uma parte importante de sua legitimidade. O saber ensinado deve ser suficientemente próximo do saber sábio, de modo a não ser desautorizado por aqueles envolvidos na produção deste último, o que minaria a legitimidade do projeto social de seu ensino (Chevallard 1991:30).

Os regimes do saber ensinado e do saber sábio não são superpostos, mas são interrelacionados (Chevallard 1991:25). Assim, um dos elementos importantes na análise da transposição didática é a análise do saber sábio. Este artigo consiste na análise de uma teoria em processo de transposição para o conhecimento escolar, colocando a questão da cientificidade desta teoria, como algo a ser respondido para que o processo de transposição didática e o saber ensinado a seu respeito (como parte dos sistemas didáticos do ensino de Biologia) tenham legitimidade. Trata-se de um artigo de natureza epistemológica, mas sua

pertinência ao campo do ensino das ciências (e, mais particularmente, da Biologia) se torna clara a partir da própria situação do saber sábio na problemática da didática. Como argumenta Chevallard (1991:23), “quando se atribui ao saber sábio seu justo lugar no processo de transposição [...], torna-se evidente que é precisamente o conceito de transposição didática que permite a articulação da análise epistemológica e da análise didática, convertendo-se então em guia para o bom uso da epistemologia na didática”. A análise da transposição didática não deve, contudo, substituir a análise epistemológica em sentido estrito (Chevallard 1991:23). Levamos a cabo neste artigo uma análise que é, em grande medida, epistemológica, pela natureza de nossa pergunta, concernente à cientificidade da teoria Gaia, à sua pertinência ao saber sábio, condição necessária sem a qual, conforme argumentamos acima, o problema de sua transposição didática para o ensino de Biologia não estaria sequer colocado. Esta análise também pode cumprir um papel relevante no exercício do que Chevallard (1991:17-20) chama de ‘princípio de vigilância epistemológica’, no que concerne à transposição didática da teoria Gaia.

Neste artigo, analisamos uma das razões pelas quais a comunidade científica tem visto com suspeita a teoria Gaia, a proposição de que a Terra é um ser vivo, de modo a verificar se ela pode ser justificada com base em três definições de vida diferentes, uma das quais associada ao paradigma até hoje mais influente na história da Biologia, a teoria neodarwinista da evolução. A partir desta análise, examinamos as conseqüências daquela proposição para uma apreciação da cientificidade da teoria Gaia. Discutimos, então, as implicações desta teoria para o ensino de Biologia e o tratamento do tema transversal “meio ambiente” (MEC/SEF 1998, 1999).

Gaia

A teoria Gaia surgiu de estudos realizados por Lovelock e Dian Hitchcock para a NASA na década de 1960, com o intuito de descobrir evidências a favor da existência de vida em planetas como Vênus e Marte. Ao ser contratado para auxiliar no desenvolvimento de instrumentos para a detecção de vida, Lovelock levantou uma questão fundamental: ‘Como podemos ter certeza de que as formas de vida de Vênus e Marte, caso existam, sejam passíveis de descoberta através de testes baseados na vida como a conhecemos na Terra?’ (Lovelock 1995a). Ponderando sobre essa questão, ele chegou à conclusão de que a característica mais geral da vida era a de que todos os organismos vivos assimilam matéria e energia, e descartam resíduos metabólicos. Supondo-se que os organismos utilizariam, em qualquer planeta, a atmosfera e os oceanos (caso estes existissem) como fontes de matéria-prima e depósitos de resíduos, Lovelock propôs, em 1965, alguns testes para a presença de vida num planeta. Num destes testes, realizado por Hitchcock e Lovelock (1967), a idéia era comparar a composição química das atmosferas de Vênus, Marte e Terra, sendo esta última utilizada como controle, na condição de um planeta no qual a presença de vida é comprovada. A base teórica do teste era simples: se um planeta não apresentasse vida, sua atmosfera seria determinada apenas pela física e pela química e, desse modo, estaria próxima ao estado de equilíbrio químico. Em contraste, a atmosfera de um planeta que contivesse seres vivos apresentaria uma espécie de ‘assinatura’ química característica, uma combinação especial de gases que poderia ser detectada até mesmo da Terra. Essa ‘assinatura’ seria um estado de constante desequilíbrio químico, causado pela retirada de matéria-prima e incorporação de resíduos metabólicos dos organismos.

Quando Hitchcock e Lovelock examinaram as evidências disponíveis sobre a atmosfera de Marte, descobriram uma diferença significativa entre esta e a atmosfera terrestre. A atmosfera de Marte estava próxima do equilíbrio químico e era dominada por dióxido de carbono (CO_2). A atmosfera da Terra, por sua vez, apresentava um estado de notável desequilíbrio químico, com uma composição na qual nitrogênio (79%) e oxigênio (21%) são os gases mais abundantes, enquanto o dióxido de carbono (CO_2) tem uma concentração de apenas 0,03%. A atmosfera terrestre também contém monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2), metano (CH_4), óxido nítrico (NO_2) e ácido clorídrico (HCL). Coexistem nela oxigênio em alta concentração e gases altamente reativos, como o metano. Esta composição química é muito peculiar, mostrando-se inconcebível num planeta sem vida, porque todas as reações químicas possíveis entre os gases atmosféricos teriam ocorrido há um longo tempo e um estado de completo equilíbrio químico estaria instalado. Em contraste, um estado de desequilíbrio químico tem sido mantido na atmosfera terrestre por um período extremamente longo, por esta ser um sistema aberto, distante do equilíbrio, caracterizado por um fluxo constante de matéria e energia. Esta é uma ‘assinatura’ da presença da vida na Terra.

Com base nestes resultados, Hitchcock e Lovelock concluíram que Marte provavelmente não continha vida. Não foi uma conclusão agradável para a NASA. Uma enorme quantidade de dinheiro e esforço havia sido dirigida para o desenvolvimento dos experimentos de detecção de vida em Marte, e Lovelock e Hitchcock estavam dizendo que não era preciso enviar a missão Viking àquele planeta. Era possível concluir que não havia vida em Marte da própria Terra. A NASA não considerou essa conclusão e enviou a missão Viking a Marte, mas esta não descobriu, como Lovelock previra, qualquer indício de vida naquele planeta.

Os estudos que realizou para a NASA levaram Lovelock a conclusões de maior alcance. Ao considerar a análise de cima para baixo (*top-down*) da atmosfera terrestre que eles haviam realizado, Lovelock pensou que ela podia indicar a existência de um sistema ativo de controle. A melhor explicação para o desequilíbrio químico observado na atmosfera terrestre consistia, em sua visão, numa ação direta da biosfera sobre ela. O papel da biosfera na manutenção do estado químico peculiar encontrado na atmosfera pode ser prontamente apreciado se examinarmos o chamado ‘holocausto do oxigênio’. A transição do Arqueano anaeróbico para o Proterozóico oxigenado é considerada por Lovelock (1990) uma mudança de Gaia, como um sistema, de um conjunto de estados homeostáticos para outro. As evidências sugerem que a composição da atmosfera terrestre já foi bem parecida com aquela das atmosferas de Marte e Vênus, com CO_2 predominando e O_2 quase ausente (Margulis & Sagan 1986). Durante bilhões de anos, o O_2 se acumulou lentamente, visto que uma grande parte desse gás era absorvida por seres vivos, compostos metálicos, gases atmosféricos reduzidos e minerais. No entanto, há cerca de 2 bilhões de anos, provavelmente com o esgotamento dos reagentes passivos disponíveis e a proliferação de cianobactérias fotossintetizadoras, este gás começou a acumular-se rapidamente na atmosfera.³ A concentração de O_2 passou de 0,0001% para 21% (Margulis & Sagan 1986). Este aumento repentino na concentração de O_2 atmosférico resultou na morte de muitas bactérias

³ Brocks et al. (1999) descobriram fósseis moleculares de lipídeos biológicos indicando a presença de cianobactérias há pelo menos 2,7 bilhões de anos. Assim, a fotossíntese oxigênica teria evoluído bem antes de a atmosfera se tornar oxidante, há cerca de 2 bilhões de anos. O acúmulo de oxigênio em grandes quantidades na atmosfera terrestre poderia estar relacionada, então, a uma diversidade de fatores, incluindo a proliferação de cianobactérias que já existiam há milhões de anos e o esgotamento dos reagentes passivos associados à depleção de oxigênio.

anaeróbicas sensíveis à sua presença (sobrevivendo apenas aquelas que se isolaram nas camadas anaeróbicas do solo e do lodo), bem como na seleção de bactérias resistentes. Entre aquelas bactérias que podiam detoxificar oxigênio, algumas linhagens capazes de respiração aeróbica foram ainda mais favorecidas, por serem capazes de utilizar a reatividade do O_2 para obter mais energia livre dos nutrientes. Assim, o O_2 , antes um gás venenoso para uma biosfera dominada por microorganismos anaeróbicos, se tornou indispensável para os novos organismos aeróbicos. O surgimento dos organismos fotossintetizadores modificou também a concentração de CO_2 . Este gás, que inicialmente respondia por cerca de 95% da atmosfera terrestre, corresponde hoje a apenas 0,03%. A concentração de O_2 na atmosfera em cerca de 21% tem sido mantida pelos organismos fotossintetizadores (principais responsáveis pela produção contínua de O_2) e aeróbicos (que consomem O_2). A manutenção deste gás num nível alto mas não excessivo é de suma importância para a biosfera. Se um aumento significativo na concentração de O_2 ocorresse, todos os seres vivos arderiam em chamas, enquanto que, se esta concentração diminuísse, os organismos aeróbicos começariam a asfixiar.

Além da manutenção do desequilíbrio químico atmosférico, Lovelock estava interessado em outra característica peculiar da Terra, a constância de seu clima desde o surgimento da biosfera. As evidências indicam que, aparentemente, a temperatura de nosso planeta não sofreu alterações significativas pelo menos nos últimos 3,6 bilhões de anos. Mesmo as mudanças climáticas ocorridas com as grandes glaciações não teriam sido tão abruptas, como sugerem as evidências de que a temperatura média das regiões tropicais não foi, naqueles períodos, mais do que $8^\circ C$ menor do que aquela observada durante os períodos interglaciais (Margulis & Lovelock 1974). É preciso considerar, ainda, a possibilidade de que o planeta tenha até mesmo sofrido um processo de resfriamento. Knauth e Epstein (1976, citados por Lovelock & Watson 1982) sugerem que o clima no Arqueano era mais quente do que o clima atual da Terra. Estas observações se tornam intrigantes quando se considera que estudos astrofísicos têm mostrado que o Sol aumentou sua luminosidade e produção de calor em cerca de 25% desde a origem da vida (Lovelock 1990). Por esta razão, Lovelock considera que o clima da Terra é, assim como a composição química da atmosfera, ativamente regulado.

Walker et al. (1981) propuseram um modelo não-biológico de retroalimentação para explicar a constância do clima terrestre. Neste modelo, o ajuste automático da pressão parcial de CO_2 atmosférico é considerado responsável pelo controle da temperatura do planeta. A escolha do CO_2 como regulador da temperatura é devida à sua natureza estável e à observação de que ele impede que a radiação infravermelha do Sol escape da atmosfera terrestre (*i.e.*, trata-se de um gás estufa). De acordo com Walker e colaboradores, quanto maior a pressão parcial de CO_2 na atmosfera, maior a temperatura do planeta. Uma temperatura mais alta afetaria, por sua vez, a taxa de reação entre o CO_2 e as rochas calcsilicáticas (*calcium silicate rocks*), e também poderia aumentar o índice pluviométrico. Ocorreria, então, um processo de retroalimentação negativa, porque estes dois fatores em conjunto seriam capazes de reduzir a concentração de CO_2 na atmosfera, diminuindo a temperatura do planeta.

Lovelock e Watson (1982) concordam com Walker e colaboradores quanto à relação entre a pressão parcial de CO_2 na atmosfera e a temperatura do planeta. Eles afirmam, contudo, que a taxa de intemperismo das rochas calcsilicáticas é determinada biológica e

não geoquimicamente. Devido à atividade bacteriana, a pressão parcial de CO₂ no solo é 10-40 vezes mais elevada do que na atmosfera. A taxa de produção de CO₂ pelas bactérias do solo dobra a cada aumento de 10°C na temperatura. Considerando essas evidências, Lovelock e Watson argumentam que as bactérias do solo são essenciais para o funcionamento do modelo de Walker e colaboradores, desempenhando um papel importante no controle da temperatura do planeta. Se não existisse vida na Terra, a pressão parcial de CO₂ no solo cairia a um nível mais baixo do que o atmosférico, porque a difusão limitaria a taxa de transferência deste gás para as rochas calcissilicáticas. Assim, um aumento na concentração do CO₂ atmosférico seria inevitável, levando a um novo equilíbrio, no qual o planeta teria temperaturas mais elevadas em sua superfície. A evolução de mecanismos biológicos de amplificação do intemperismo das rochas calcissilicáticas teria sido, desse modo, fundamental para a diminuição do conteúdo de gás carbônico da atmosfera, produzindo um resfriamento do planeta da ordem de 15-45°C. Nesses termos, Lovelock afirma que a teoria Gaia fornece uma explicação satisfatória para a constância do clima da Terra.

Estas características singulares da Terra levaram Lovelock a propor a idéia de Gaia como um sistema de controle em 1972. Ele chamou sua teoria de ‘Gaia’ graças a uma sugestão do escritor William Golding, então seu vizinho, baseada na idéia de que o nome da deusa grega era o único adequado para “uma entidade tão poderosa” (Lovelock 1990:100). Logo depois, Lovelock começou a trabalhar com a microbiologista Lynn Margulis, que estudava a produção e remoção de gases por vários organismos, especialmente bactérias do solo. Lovelock e Margulis apresentaram inicialmente a teoria original como a idéia de que “a vida, ou a biosfera, regula ou mantém o clima e a composição da atmosfera em um ótimo para si própria” (Lovelock 1990:100). Eles refinaram a teoria em artigos publicados em *Tellus* (Lovelock & Margulis 1974a) e *Icarus* (Margulis & Lovelock 1974), enunciando-a como “a noção da biosfera como um sistema adaptativo de controle que pode manter a Terra em homeostase [...]”. Eles foram capazes de identificar uma rede complexa de alças de retroalimentação (*feedback loops*) que resultariam, de acordo com sua teoria, na auto-regulação do sistema vida-ambiente em nosso planeta.

Em 1983, Watson e Lovelock apresentaram um modelo numérico, o Mundo das Margaridas (*Daisyworld*), exemplificando os mecanismos de regulação postulados pela teoria Gaia. Este modelo foi de grande importância para uma maior aceitação desta teoria pela comunidade científica. Ele foi construído em resposta à crítica de Dawkins (1982) de que não haveria meios de a evolução por seleção natural levar a um altruísmo em escala global. Trata-se de uma controvérsia importante, porque, para muitos, a teoria de Lovelock e Margulis é incompatível com o paradigma mais influente na história da Biologia, a teoria darwinista da evolução.

Em seu modelo, Watson e Lovelock limitaram, para fins de simplificação, o ambiente a uma única variável, a temperatura, e a biota, a dois tipos de vida, ‘margaridas’⁴ brancas e pretas. Estes dois tipos de margaridas diferem em suas taxas de reflexão da radiação solar (albedo) e, assim, em sua temperatura local. O planeta tem uma superfície cinza de albedo intermediário, de modo que as margaridas pretas estão sempre mais quentes

⁴ Este termo se encontra entre aspas para enfatizar a importância de não se interpretar as margaridas do modelo de maneira muito literal, como argumentam Lenton & Lovelock (2000). No restante do artigo, não utilizaremos mais as aspas.

e as margaridas brancas mais frias em relação ao ambiente circundante. A taxa de crescimento de cada margarida é uma função de sua temperatura local. As margaridas não crescem abaixo de 5°C e acima de 40°C, apresentando um crescimento ótimo a 22,5°C.

O Mundo das Margaridas é um planeta hipotético parecido com a Terra, orbitando ao redor de uma estrela com a mesma massa e composição de nosso Sol, que se torna mais luminosa com o tempo. Sua atmosfera tem poucas nuvens e uma concentração baixa e constante de gases estufa, que pode ser negligenciada. Nestas condições, a temperatura média da superfície do planeta é determinada por seu albedo total (a fração de luz refletida por sua superfície) e, portanto, pela quantidade de radiação solar absorvida. Isso depende, por sua vez, da cobertura proporcional de margaridas pretas, margaridas brancas e superfície nua.

No modelo de Watson e Lovelock (1983), a temperatura planetária é regulada, com o planeta mantendo seu clima constante na presença de vida, apesar do aumento contínuo da produção de calor e luminosidade pelo Sol. Na ausência de vida, ocorre um aquecimento gradual do planeta, como esperado. As margaridas apresentam, no modelo, a capacidade de estabilizar a temperatura do planeta simplesmente através de seu desenvolvimento. No início da simulação, a temperatura do planeta se encontra no ponto de fusão da água. Sementes de margaridas são espalhadas pelo planeta, que é fértil e úmido em todos os locais. À medida que o planeta se aquece, o equador se torna em algum ponto suficientemente quente para que as margaridas cresçam. As margaridas pretas surgem primeiro, porque a temperatura do planeta ainda é baixa e elas absorvem mais luz e ficam mais quentes do que o ambiente circundante, mostrando-se mais adaptadas para a sobrevivência e reprodução naquelas condições. As margaridas brancas se encontram em desvantagem, porque refletem a luz da estrela e ficam mais frias do que a superfície. Em sua primeira fase, o Mundo das Margaridas apresenta um anel de margaridas pretas espalhadas ao redor do equador. A população de margaridas pretas cresce rapidamente, espalhando-se pela superfície e aquecendo aquela região do planeta. Com o aumento da luminosidade solar, no entanto, o crescimento das margaridas pretas é limitado no equador, em vista do declínio de sua taxa de crescimento a temperaturas acima de 22,5°C e da competição com as margaridas brancas. Eventualmente, as margaridas pretas desaparecem do equador, passando a colonizar as zonas subtropicais. Ao mesmo tempo, margaridas brancas aparecem no equador, uma vez que refletem o calor, mostrando-se mais adaptadas à sobrevivência em zonas quentes do que as margaridas pretas. Na segunda fase do planeta, há um anel de margaridas brancas ao redor do equador e as zonas subtropicais e temperadas são dominadas por margaridas pretas. As margaridas brancas gradualmente dominam o planeta e, como refletem mais luz para o espaço, resfriam sua superfície. Então, o Sol se torna muito quente e toda a vida vegetal é extinta no equador. As margaridas brancas passam a substituir as margaridas pretas nas regiões temperadas, enquanto estas últimas começam a aparecer ao redor dos pólos. Na terceira fase, o Mundo das Margaridas apresenta a superfície do planeta exposta no equador, as zonas temperadas povoadas por margaridas brancas e as regiões polares, por margaridas pretas. O modelo atinge, com o tempo, uma quarta fase na qual restam apenas margaridas brancas. Por fim, a produção de calor pela estrela se torna tão grande que supera a capacidade de regulação da biota e todas as margaridas morrem. No modelo de Watson e Lovelock, o albedo planetário está intimamente acoplado à evolução das margaridas, e a evolução das margaridas, às mudanças no clima. A propriedade crucial para a obtenção de auto-regulação no modelo é a de que as margaridas, quando absorvem ou

refletem a luz, aquecem ou resfriam não apenas elas próprias, mas também o planeta. Ou seja, há um acoplamento entre as condições do planeta e os seres vivos, como postula a teoria Gaia. Se as alças de retroalimentação que conectam em duplo sentido as condições ambientais e o crescimento das margaridas forem interrompidas, de modo que não exista mais influência das margaridas sobre o ambiente, as populações flutuam enormemente e todo o sistema se torna caótico. Basta então restaurar as alças de retroalimentação e o modelo volta a estabilizar-se.

Nos últimos anos, o debate acerca do Mundo das Margaridas se tornou cada vez mais fértil, procurando-se compreender, por exemplo, as relações entre a capacidade adaptativa dos organismos e a capacidade de auto-regulação postulada pela teoria Gaia. Robertson e Robinson (1998) construíram um modelo, o ‘Mundo das Margaridas Darwiniano’⁵, no qual a capacidade dos organismos de adaptarem sua fisiologia às mudanças ambientais mina sua capacidade de regular o ambiente. Lenton e Lovelock (2000) criticam o modelo de Robertson e Robinson com base em dois pressupostos assumidos por seus construtores: Primeiro, o de que não há limites para as condições ambientais às quais os organismos podem adaptar-se, de modo que as margaridas se adaptariam a qualquer temperatura, mesmo abaixo do ponto de fusão ou acima do ponto de ebulição da água; segundo, o de que as mesmas taxas de crescimento poderiam ser alcançadas sob quaisquer condições. Quando Lenton e Lovelock incorporam no modelo não apenas a capacidade dos organismos de adaptarem-se às mudanças ambientais, mas também as restrições que atuam sobre esta adaptabilidade, a capacidade de regulação do ambiente é recuperada. Desse modo, a necessidade de conciliar as vantagens e desvantagens de modificar o ambiente ou adaptar-se às condições ambientais existentes, enfrentada pelas linhagens de organismos no processo evolutivo, pode ser incorporada no modelo, sem perda da capacidade de regulação do ambiente, que é o aspecto mais essencial da teoria Gaia.⁶

O modelo do Mundo das Margaridas e outros modelos geofisiológicos (como Lovelock os denomina) mais sofisticados, incluindo mais espécies de margaridas, com diferentes cores, ilustrando a regulação simultânea do clima e da química atmosférica por ecossistemas bacterianos, incorporando o papel da adaptação, e assim por diante, têm contribuído para tornar a teoria Gaia mais aceitável para cientistas de diferentes disciplinas (ver Lovelock 1991a, 1991b, 1993; Lenton & Lovelock 2000, 2001). Tem sido cada vez mais reconhecido que Gaia é uma teoria testável, com conteúdo empírico e poder preditivo, explanatório e heurístico. Num artigo publicado em 1991, Lovelock afirma que esta teoria é rica em previsões ‘arriscadas’, enfatizando sua natureza falsificável, no sentido popperiano (Lovelock 1991a:30. Ver tb. Lovelock 1997:621), e discutindo uma série de evidências favoráveis e contrárias (Lovelock 1991a:34-41. Ver tb. Lovelock 1993:5-10). De fato, previsões acerca de sistemas de retroalimentação específicos respondendo pela regulação do clima e da atmosfera têm sido deduzidas de maneira precisa da teoria e testadas através de experimentos e comparações sistemáticas (ver, por exemplo, artigos em Schneider & Boston 1993). A teoria Gaia conduziu à identificação de um outro sistema possível de controle do clima, que poderia ser tão importante quanto o sistema envolvendo o efeito

⁵ Em resposta à referência por Robertson & Robinson (1998) à natureza ‘darwiniana’ de seu modelo, Lenton e Lovelock (2000) enfatizam que o Mundo das Margaridas é, desde sua concepção original, darwiniano, por incluir competição por espaço e, logo, por luz entre tipos diferentes de vida, e variação herdável num traço, a cor, que afeta o *fitness*.

⁶ Outros aspectos da evolução no Mundo das Margaridas são abordados por Saunders (1994), Stöcker (1995), Lenton & Lovelock (2001). A questão da compatibilidade entre Gaia e seleção natural também foi abordada por Lenton (1998), Hamilton & Lenton (1998), Levin (1998) e Wilkinson (1999a,b).

estufa do dióxido de carbono e do metano: a emissão em escala global de sulfeto de dimetila a partir dos oceanos. Esse fenômeno foi descoberto no curso da busca por um agente químico de origem biológica para completar o ciclo do enxofre (Lovelock et al. 1972). Outra previsão nova oriunda da teoria Gaia, mas difícil, ou mesmo impossível, de ser testada empiricamente, é a de que a vida, quando surge num planeta, deve não apenas adaptar-se ao ambiente, mas propagar-se rapidamente, visto que uma biota esparsa não seria capaz de acoplar-se com o ambiente físico-químico, regulando-o de modo a favorecer sua sobrevivência. Na ausência de uma proliferação rápida da vida, a tendência seria a de uma extinção dos seres vivos, com a evolução geofísica e geoquímica do planeta progredindo na direção de estados de equilíbrio físico-químico como aqueles observados em Marte e Vênus (Lovelock 1990:101). Lovelock (1990) apresenta uma lista de previsões testáveis derivadas da teoria Gaia, discutindo a situação de cada uma delas diante dos testes empíricos até então realizados.

É importante considerar, também, que algumas questões, como, por exemplo, ‘Por que a concentração de oxigênio é de cerca de 21% desde a transição do Arqueano para o Proterozóico?’, ou ‘Por que o clima permaneceu favorável à biota pelos últimos 3,6 bilhões de anos?’, eram raramente colocadas antes de a teoria Gaia ter sido proposta.

Mas, apesar da reação mais positiva observada nos últimos anos, Lovelock e Margulis não tiveram sucesso, durante muito tempo, em suas tentativas de convencer a comunidade científica de que sua idéia merecia investigação. Eles encontraram dificuldade para publicar seus primeiros artigos conjuntos sobre a hipótese Gaia. Revistas científicas de maior impacto, como *Nature* e *Science*, recusaram seus artigos e convites como o de Carl Sagan, então editor da revista *Icarus*, foram providenciais (Capra 1996:106). Gaia se tornou uma noção mais adotada por grupos ambientalistas e religiosos do que pela comunidade científica (Schneider & Boston 1993). Apenas recentemente, a partir do impacto dos modelos construídos por Lovelock e Watson e do aumento do número de cientistas envolvidos com o programa de pesquisa iniciado por Lovelock e Margulis, essa situação começou a mudar.

As críticas de Kirchner

Não se pode perder de vista críticas vigorosas à teoria Gaia como as de Kirchner (1989, 1993). Este autor argumenta que Gaia não é uma ‘hipótese’ única, tratando-se, antes, de uma série de ‘hipóteses’ distintas, variando de fracas a fortes. As ‘hipóteses’ fracas incluiriam aquelas que enunciam que a biosfera está envolvida na dinâmica planetária. Kirchner observa que nada há de novo nesta idéia e, por isso, ela é de fácil aceitação pela comunidade científica. As ‘hipóteses’ fortes incluiriam aquelas que se referem a uma fisiologia planetária com o propósito de regular a dinâmica da Terra, como no caso de ‘Gaia Teleológica’, a idéia de que a atmosfera terrestre, por exemplo, poderia ser vista como “um dispositivo constituído especificamente para um conjunto de propósitos” (Lovelock & Margulis 1974a:3). Kirchner critica este enunciado da teoria Gaia por ser incompleto, uma vez que o propósito do suposto mecanismo de controle biológico não é definido. Ele enfatiza que propósito e função somente coincidem em dispositivos que funcionam adequadamente. No entanto, se a atmosfera funciona adequadamente, ou se ela é de fato um dispositivo, é exatamente a questão em pauta. Argumentando que a atmosfera certamente

tem uma série de funções importantes, Kirchner coloca uma pergunta inevitável: Qual das funções da atmosfera deve contar como seu ‘propósito’? Sem um propósito definido de maneira independente, Gaia Teleológica simplesmente afirma que a atmosfera cumpre o propósito de fazer qualquer coisa que ela faça.

Este problema é resolvido por outra versão da teoria, ‘Gaia Otimizadora’⁷, na qual se afirma que o propósito de Gaia é manter um ambiente físico-químico ótimo para a biota. Lovelock e Margulis (1974b), por exemplo, apresentam sua hipótese como a idéia de que energia é gasta pela biota para manter ativamente um ambiente ótimo para a vida na Terra. Kirchner explicita um difícil problema colocado por este argumento: Como definir uma condição ótima para toda a biosfera? Afinal de contas, ela inclui uma enorme diversidade de organismos, cada um dos quais com requisitos diferentes, e muitas vezes conflitantes, para sua sobrevivência.

Lovelock considera que uma parte das idéias que Kirchner atribui a ele não corresponde, de fato, a noções que ele tenha defendido, propondo-se a distinguir a teoria Gaia ‘real’ de um conjunto de idéias ‘parasitas’ ou ‘inquilinas’, incluindo Gaia ‘coevolutiva’, ‘otimizadora’ e ‘dotada de propósito’ (Lovelock 1991a:31. Ver tb. Lovelock 1990:101). Referindo-se à apresentação de Kirchner na Conferência Chapman da União Americana de Geofísica⁸, em março de 1988, Lovelock (1990:101) escreve: “Como alguma figura da Inquisição, ele queimou publicamente várias Gaias imaginárias e sua demolição pirotécnica da Gaia forte roubou o *show*. Mas quando as centelhas desapareceram, o real sistema de Gaia ainda estava lá, apenas oculto pela fumaça”. No entanto, ele e Margulis escreveram sentenças cujo conteúdo inclui de maneira evidente idéias criticadas por Kirchner, incluindo a noção de teleologia:

“Nós estamos chamando a noção da biosfera como um sistema adaptativo de controle ativo capaz de manter a Terra em homeostase de hipótese ‘Gaia’” (Lovelock & Margulis 1974a:3).

“... a atmosfera da Terra é mais do que simplesmente anômala; ela parece ser um dispositivo constituído especificamente para um conjunto de propósitos” (Lovelock & Margulis 1974a:3).

“Nós acreditamos que Gaia é uma entidade complexa envolvendo a biosfera, os oceanos, o solo e a atmosfera terrestres. A totalidade constitui um sistema cibernético ou de retroalimentação que busca um ambiente físico e químico ótimo para a biota” (Margulis & Lovelock 1974:473).

Estes trechos ilustram, respectivamente, as versões homeostática, teleológica e otimizadora da teoria Gaia, de acordo com a taxonomia de Kirchner. São trechos escritos pelo próprio Lovelock, de modo que, apesar de ele sugerir que Kirchner lhe atribui idéias que não reconhece como suas, as dificuldades suscitadas pelas versões mais fortes da teoria

⁷ Kirchner discute outras versões da teoria Gaia, como ‘Gaia Influyente’, ‘Gaia Coevolutiva’ e ‘Gaia Homeostática’. A este respeito, ver os artigos originais.

⁸ Esta conferência foi organizada por Stephen Schneider, motivado por sua convicção de que a teoria Gaia deve ser discutida e investigada pela comunidade científica (Schneider & Boston 1993). Lovelock (1990) considera esta conferência um episódio muito significativo na história da teoria, relacionando a grande quantidade de artigos inspirados por Gaia que foram publicados desde então ao seu impacto.

Gaia merecem atenção. Kirchner (1993) afirma que a idéia de que há um propósito na manutenção da constância climática e da instabilidade atmosférica pela biosfera *não* é testável, a menos que o propósito de Gaia ou o significado de um ambiente físico-químico biologicamente ótimo seja precisamente definido. Trata-se de uma acusação séria, implicando, em termos popperianos, que a teoria Gaia não pode ser considerada, em suas versões mais fortes, científica, a não ser que se proponha uma interpretação teleológica adequada para ela. A situação se torna ainda mais complexa, quando se leva em conta que o próprio Lovelock não está disposto a admitir uma interpretação dessa natureza (ver Lovelock 1990:100, 1991a:30, 1991b:11). Seria o caso, então, de optar-se por uma interpretação mais fraca, rejeitando-se as noções de teleologia e otimização. No entanto, as versões mais fracas da teoria Gaia não possuem, para Kirchner, qualquer conteúdo novo. Na visão deste autor, a teoria Gaia, onde parece ser nova, não é científica, e onde parece ser cientificamente aceitável, nada diz de novo. A perspectiva de uma aceitação da teoria de Lovelock e Margulis pela comunidade científica não é, nesses termos, muito promissora. No entanto, como afirmamos acima, esta teoria parece possuir conteúdo empírico, e poder explanatório, preditivo e heurístico, orientando o trabalho de investigação de um número crescente de pesquisadores. Considerando-se, então, que as versões mais fortes da teoria Gaia se mostram mais interessantes, é importante para o desenvolvimento do programa de pesquisa iniciado por Lovelock a formulação de uma explicação teleológica cientificamente válida desta teoria, apesar da cautela de seus proponentes a este respeito.

Neste trabalho, não trataremos do problema da cientificidade da teoria Gaia em termos da natureza das explicações teleológicas envolvidas. Nosso objetivo está focado sobre a análise da proposição de que a Terra é um ser vivo, usualmente encontrada nos escritos de Lovelock. Como escreve Kirchner (1993:46), “a percepção comum é a de que Gaia significa que ‘a Terra é viva’ ou que a biosfera está tentando fazer uma boa casa para si própria aqui. Porque muitas pessoas não compreendem os riscos de tratar afirmações poéticas como proposições científicas, o público em geral pensa que os cientistas estão ocupados tentando compreender se a Terra *realmente* é ‘viva’. Eu não penso que aquela percepção ajude a qualquer um de nós”. Esta citação destaca alguns dos aspectos centrais que devem ser considerados numa análise epistemológica da teoria Gaia, particularmente quando se examina a perspectiva de sua transposição para o conhecimento escolar. Uma discussão cuidadosa da proposição de que a Terra é um ser vivo e da possibilidade de sua justificação teórica é particularmente importante, porque se trata da idéia mais destacada, entre os vários conteúdos da teoria Gaia, por obras de divulgação científica (*e.g.*, Capra 1996) e em textos escritos por leigos (*e.g.*, Spowers 2000). Além disso, o próprio Lovelock, quando se dirige ao público leigo, costuma colocar maior ênfase sobre a caracterização da Terra como um ser vivo do que sobre outros aspectos de sua teoria (ver abaixo).

Gaia e definições de vida

Ao chamar sua teoria de ‘Gaia’ e colocar a Terra na condição de um ser vivo, Lovelock deixou a porta aberta para as mais diversas interpretações de suas idéias. Como Myrdene Anderson observou (*apud* Lovelock 1990:102), ‘Gaia’ é um signo vazio com capacidade quase infinita de significação. O próprio Lovelock (1990:102) reconheceu que o termo ‘Gaia’ se estendeu muito além de suas intenções, comparando-o a uma lata vazia deixada numa rua, sendo gradualmente enchida com um monte de lixo. Embora ele afirme

que este é o destino de qualquer signo novo, é razoável pensar que um dos motivos para que isso tenha ocorrido foi a escolha do nome ‘Gaia’, que contribuiu tanto para a rejeição da teoria por muitos cientistas como para a adesão entusiasmada de grupos ambientalistas e espiritualistas (Schneider & Boston 1993). Lovelock propôs um substituto para o termo ‘Gaia’, ‘Geofisiologia’, referindo-se àquele primeiro termo como uma “abreviação para a teoria” (Lovelock 1990:100). Contudo, este neologismo não se tornou muito difundido, provavelmente porque é um termo muito menos atraente do que ‘Gaia’.

O termo ‘Geofisiologia’ preserva a idéia de que a Terra é um super-organismo. Considerando-se que o conceito de ‘super-organismo’ é uma das noções mais polêmicas na história da Ecologia (*e.g.*, Simberloff 1980), a referência a ele torna a teoria Gaia ainda mais controversa. A inspiração para aquele neologismo se encontra em Hutton (para Lovelock, um precursor de sua hipótese), que concebia a Terra como um super-organismo e afirmou que seu estudo apropriado seria através da Fisiologia (Lovelock 1991a:31, 1993:3, 1997:619). Hutton chegou a propor uma analogia entre a circulação sanguínea e a circulação de nutrientes na Terra. Essa analogia mostra um problema que torna noções como a de ‘super-organismo’ tão controversas: embora analogias e metáforas sejam elementos indispensáveis da teorização científica, elas se tornam problemáticas quando há mais diferenças do que semelhanças entre os elementos que colocam em relação (Bradie 1980, 1984, 1995; Kirchner 1989, 1993; Ortony 1993; Rocha & El-Hani 1996).

Lovelock (1990:102) lamenta que sua hipótese tenha sido colocada lado a lado com a filosofia da ‘Nova Era’ e se preocupa com a possibilidade de que Gaia tenha dado apoio à anticiência. Colocações como estas, encontradas num artigo que é basicamente um manifesto a favor da cientificidade da teoria Gaia, mostram a intenção de Lovelock de convencer seus pares a reconhecerem em sua teoria uma idéia digna de investigação. Neste contexto, a proposição de que a Terra é um sistema vivo, encontrada na maioria dos trabalhos de Lovelock, sendo inclusive destacada no título de alguns deles (*e.g.*, Lovelock 1986, 1995b, 1997), se torna particularmente problemática. Embora esta seja uma afirmação sedutora para o senso comum, ela deve ser defendida de maneira consistente para que a comunidade científica possa aceitá-la. Afinal, como o próprio Lovelock (*in*: Spowers 2000:26) reconhece, a afirmação de que a Terra se comporta como um animal o envolveu num terreno bastante controverso. É preciso demonstrar que essa idéia pode ser justificada à luz do estado atual do conhecimento científico e, em particular, de alguma definição geralmente aceita dos conceitos de ‘vida’ ou ‘ser vivo’.

Diante deste problema, não basta afirmar, como faz Lovelock (*in*: Spowers 2000:26), que se trata apenas de uma metáfora. A metáfora de que a Terra é um ser vivo traz o risco, apontado por Kirchner (1993:46), de levar as pessoas a confundirem afirmações poéticas com proposições científicas. Kirchner (1989:226-227) observa que pode haver algum sentido no qual seja possível conceber a Terra como um organismo, mas esta analogia requer, para ser sustentada, uma estipulação de quando ela se aplica ou não se aplica. Modos específicos através dos quais a biosfera supostamente viria a exibir atributos de um organismo global (*e.g.*, homeostase) podem ser considerados hipóteses testáveis, mas a própria analogia não é testável, porque não apresenta conteúdo empírico além dos dados que sugerem maneiras específicas em que ela se aplica ou não. A analogia entre Terra e seres vivos deve ser objeto de outro tipo de investigação, de natureza teórica, na qual ela seja analisada com base em algum conceito de ‘vida’ ou ‘ser vivo’. Pode ser, por exemplo, que

uma demonstração empírica de que a Terra exibe homeostase e de que esta se relaciona diretamente à ação da biosfera seja irrelevante para a classificação da Terra como um ser vivo. Afinal, esta demonstração só se mostraria relevante quando cotejada com uma definição de ‘vida’ na qual a propriedade de exibir homeostase seja considerada um atributo definidor deste fenômeno. De outro modo, seria demonstrado apenas que entidades caracterizadas, com base em alguma definição de ‘vida’, como ‘vivas’ exibem uma propriedade que a Terra, que poderia não ser qualificada como ‘viva’ à luz daquela definição, também apresenta. Nesse caso, existiria uma analogia entre organismos e o sistema planetário, mas ela não apoiaria a proposição de que a Terra é viva.

Lovelock não justifica sua caracterização da Terra como um ser vivo com base em alguma definição de ‘vida’, limitando-se a propor analogias que não são suficientes para tal caracterização. Isso pode ser visto numa análise de alguns de seus artigos. Lovelock inicia sua contribuição à obra *Biodiversity*, organizada por Edward Wilson, afirmando que “a idéia de que a Terra é viva pode ser tão velha quanto a humanidade. Os antigos gregos deram-lhe o poderoso nome de Gaia e tinham-na como deusa” (Lovelock 1997:619). Ele descreve sua hipótese como uma retomada de uma ‘visão holística do planeta’ presente nesta antiga idéia e, também, na visão de Hutton sobre a Terra.⁹ Lovelock considera que os estudos realizados por ele e Hitchcock confirmaram “a visão que James Hutton teve de um planeta vivo” (Lovelock 1997:620). A conclusão de que a Terra é viva é justificada por ele através de analogias, como, por exemplo, entre a auto-regulação do clima e da composição atmosférica do planeta e a propriedade de homeostase exibida pelos seres vivos: “... isso significaria que o planeta está vivo – pelo menos até o ponto em que compartilha com outros organismos vivos a maravilhosa propriedade da homeostase” (Lovelock 1997:620). O acoplamento da biota e do ambiente físico-químico através de um sistema de retroalimentação faria a Terra comportar-se, em sua visão, de maneira similar a um organismo vivo (Lovelock 1990:101). Ele também utiliza outra propriedade compartilhada pela Terra e por organismos, a de que ambos são sistemas abertos que apresentam limites, como base para a conclusão de que “... Hutton estava correto ao chamar a Terra de um super-organismo” (Lovelock 1990:101). A proposição de que a Terra é um super-organismo, exibindo homeostase como uma propriedade emergente, levaria, então, à conclusão de que o estudo da Terra requer Fisiologia, ao lado da Física e da Química (Lovelock 1991a:34, 1993:4-5). Lovelock (1990, 1991a) entende a auto-regulação do clima e da composição química da atmosfera como propriedades emergentes que não envolvem qualquer teleologia. A natureza emergente de Gaia também é citada por ele como uma similaridade entre os organismos e o sistema evolutivo incluindo a biota e o ambiente físico-químico descrito por sua teoria (Lovelock 1991a:33, 1993:4). A vida seria “um domínio em escala planetária que emerge após a vida ter originado-se” (Lovelock 1991a:41). Ao considerar a analogia entre a natureza emergente dos seres vivos e do sistema de controle de Gaia, Lovelock não reconhece que até mesmo sistemas abióticos simples podem exibir propriedades emergentes (Kirchner 1989:227).¹⁰ O

⁹ A caracterização da teoria Gaia como uma visão ‘holística’ do planeta também merece investigação. Nós trataremos deste tópico em outro trabalho, tomando como base a distinção, por El-Hani (2000), entre formas radicais e moderadas de holismo.

¹⁰ Lovelock (1990, 1991a) não explica ou define o que entende por ‘propriedades emergentes’. Ele apenas relaciona a emergência de propriedades à afirmação de que o todo é mais do que a soma das partes (Lovelock 1991a:33, 1993:4; Lovelock & Margulis 1974a:3), usualmente associada ao holismo (*e.g.*, Hofstadter 1980, Capra 1983). Contudo, esta proposição não é um elemento essencial para uma definição ou explicação da emergência e, além disso, não constitui uma crítica vigorosa ao reducionismo, como freqüentemente se pensa, porque não tem na devida conta o reconhecimento pela maioria dos reducionistas do poder explanatório das relações entre as partes de um sistema (Levine et al. 1987; El-Hani 2000). Em geral, Lovelock parece estar referindo-se a uma idéia muito genérica da

problema é que o compartilhamento de uma ou mais propriedades não assegura, na ausência de um conceito de ‘vida’, que a Terra possa ser incluída na mesma classe que os ‘outros organismos vivos’, como Lovelock pretende. Listar propriedades, como será discutido abaixo, é uma abordagem inadequada para o problema de diferenciar seres vivos e objetos inanimados.

Não encontramos nas obras de Lovelock que analisamos qualquer definição de vida baseada nas propriedades citadas acima, de modo a fundamentar a proposição de que a Terra é viva. Ele se limita a repetir sempre as mesmas analogias. Esta não é, entretanto, uma atitude defensável, porque a proposição de que a Terra é viva estende o conceito ordinário de vida para além de seus limites (Bedau 1996), necessitando de justificação por meio de uma análise conceitual adequada.

É verdade que Lovelock se coloca o problema da definição de vida: “Então há a questão ‘O que a palavra vivo significa?’ Biólogos evitaram cuidadosamente a tentativa de respondê-la” (Lovelock 1991a:34, 1993:4). No entanto, ele não oferece uma resposta apropriada, limitando-se a comparar Gaia com uma espécie de choupo, de modo a destacar semelhanças: “De muitas maneiras, a árvore do choupo, viva, mas ainda assim incapaz de reproduzir-se, é como Gaia. Ambos são feitos principalmente de matéria morta que foi profundamente alterada por organismos vivos, e ambos têm apenas uma fina pele de tecido vivo ao redor de suas circunferências” (Lovelock 1991a:34. Ver tb. 1991b:31ff.). Em vez de uma análise conceitual visando responder a pergunta que ele próprio se coloca, Lovelock apenas oferece mais uma analogia. Da mesma forma, quando responde à crítica de que a Terra não é um organismo porque não se reproduz e não evolui por seleção natural, ele se limita a mencionar outros atributos presentes na Terra, de acordo com sua teoria, que considera tão importantes quanto a reprodução: metabolismo e capacidade de homeostase (in: Spowers 2000:27).

Em suma, não foi encontrada nos escritos de Lovelock examinados a análise conceitual necessária para demonstrar a plausibilidade da caracterização da Terra como um sistema vivo. Na ausência de uma definição de vida coerente com algum referencial teórico sobre as únicas entidades conhecidas que são indubitavelmente ‘vivas’, os organismos típicos, uma reação apreensiva à descrição de Gaia como um organismo, encontrada até mesmo entre os biólogos que são amigos de Lovelock (ver Lovelock 1990:102), é justificada. Não basta afirmar que a teoria Gaia está apenas retomando, ao propor que a Terra é um ser vivo, uma tradição que remonta a Da Vinci ou Hutton e que teria sido supostamente rejeitada pela Biologia no século XIX por causa da influência do reducionismo (Lovelock 1990:102) ou de um interesse crescente nas origens e nas teorias evolutivas da Terra e da vida (Lovelock 1991a:31, 1993:3). Não se trata, tampouco, de uma incapacidade da comunidade científica de lidar com a metáfora de que a Terra é viva (Lovelock, in: Spowers 2000:27). O problema é de outra ordem e muito mais sério: a descrição de Gaia como um organismo não pode sustentar-se do ponto de vista teórico na

emergência como a criação de novas propriedades na evolução de um sistema, sem deter-se sobre os problemas filosóficos que esta noção suscita *e.g.*, Blitz 1992; Beckermann et al. 1992; Kim 1999, 2000; O’Connor 1994; Emmeche et al. 1997, 2000; Stephan 1998; Pihlström 1999). Esta interpretação é apoiada por sentenças como a seguinte: “O debate real, então, é o de quão importante e íntimo é o acoplamento [da vida e do ambiente]? Ele confere, como nós acreditamos, novas propriedades ao sistema, tais como a estabilidade aumentada ou um comportamento similar àquele de um organismo vivo?” (Lovelock 1990:101). Bergandi (2000) discute a terminologia emergentista utilizada na teoria Gaia.

ausência de alguma definição de ‘vida’. É preciso ir além da metáfora construída por Lovelock, levando a cabo uma análise teórica que poderia colocar a própria validade daquela metáfora em dúvida.

O fato de que a percepção mais comum sobre a teoria Gaia é a de que ela significa que a Terra está viva (Kirchner 1993:46) mostra a importância de examinar esta afirmação ao analisar-se a cientificidade desta hipótese. Por exemplo, numa entrevista recente de Lovelock (Spowers 2000), o conteúdo que predomina é o de que a Terra é um ser vivo. Apenas depois de a idéia de que o planeta e a biosfera constituem um super-organismo ter sido enfatizada, aparece uma referência às proposições que formam, em nossa visão, o núcleo duro (Lakatos 1979) de Gaia como uma teoria científica, *i.e.*, as afirmações de que os seres vivos e seu ambiente material formam um sistema em evolução intimamente acoplado e indivisível, e de que a auto-regulação do clima e da composição química atmosférica são propriedades que emergem ao nível do planeta como um todo. Sintomaticamente, estas são as proposições destacadas por Lovelock em artigos nos quais busca defender a cientificidade de sua hipótese. Por exemplo, quando descreve sua teoria em ‘Hands up for the Gaia hypothesis’, a afirmação de que a Terra é viva não é mencionada: “De muitas maneiras, Gaia [...] é difícil de descrever. O mais próximo que posso chegar é referir-se a Gaia como a teoria de um sistema em evolução – um sistema composto dos organismos vivos da Terra e de seu ambiente material, sendo as duas partes intimamente acopladas e indivisíveis” (Lovelock 1990:100). Da mesma forma, quando ele se propõe, em ‘Gaia: A planetary emergent phenomenon’, a apresentar a hipótese de maneira mais clara do que em seus primeiros artigos, não há qualquer referência à Terra como um ser vivo: “A hipótese Gaia amadureceu ao longo dos últimos quinze anos e pode agora ser mais claramente enunciada como uma teoria que vê a evolução da biota e de seu ambiente material como um processo único intimamente acoplado, com a auto-regulação do clima e da química como uma propriedade emergente” (Lovelock 1991a:30). Por fim, um exemplo importante é encontrado num artigo recente dirigido especificamente à comunidade científica (Lenton & Lovelock 2000). Neste artigo, a afirmação de que a Terra é viva não está sequer presente. A teoria é descrita da seguinte maneira: “A teoria Gaia propõe que a biota da Terra e seu ambiente superficial [...] formam um sistema auto-regulatório que mantém o planeta num estado habitável” (Lenton & Lovelock 2000:109). É claro que o próprio Lovelock também nutre a idéia de que um dos principais conteúdos de sua teoria reside na proposição de que a Terra é viva, como exemplifica sua concordância com a seguinte afirmação: “... nós podemos ver Gaia como uma extensão macrocósmica de nossos próprios corpos” (Spowers 2000:26). No entanto, é interessante observar que há uma diferença importante na maneira como ele apresenta a teoria para a comunidade científica e para o público leigo.

Spowers (2000:25) atribui a resistência da comunidade científica à hipótese Gaia a dois fatores: (i) os paralelos entre Gaia e crenças animistas, dado que, nos dois casos, afirma-se que a Terra é viva; (ii) a abordagem holística de Gaia, que estaria em contraste direto com a abordagem reducionista da ciência moderna. Não discutiremos este segundo ponto, reservando-o para trabalhos futuros. O que nos interessa aqui é o fato de que Spowers não reconhece que a dificuldade não reside apenas na similaridade de conteúdo entre a idéia de que a Terra é viva na teoria de Lovelock e crenças animistas, mas na ausência de uma justificativa teórica adequada para a proposição de que a Terra é viva.

Definindo vida

A palavra ‘Biologia’ é uma filha do século XIX. O próprio conceito de ‘vida’ não existia até o fim do século XVIII. Existiam apenas seres vivos (Foucault 1987). Essa constatação causa menos espanto quando a entendemos contra o pano de fundo do surgimento de uma nova visão de mundo, baseada na idéia de evolução, a partir de meados do século XVIII (Bowler 1989). Não foi por acaso que os primeiros naturalistas a conceberem a noção de uma ‘Biologia’, de uma ciência unificada dos seres vivos, Karl Friedrich Burdach (em 1800), Gottfried Treviranus (em 1802) e Jean-Baptiste Lamarck (em 1802), estivessem também entre os primeiros evolucionistas. É fácil entender, então, por que a maioria dos biólogos se preocupa com os ataques desferidos por criacionistas ao ensino de evolução: na ausência da evolução, o ensino de Biologia perde, como um todo, o seu sentido (*cf.* Dobzhansky 1973). Uma ciência da vida só faz sentido quando a vida é concebida como um fenômeno único e essa concepção não é natural numa visão criacionista, na qual os seres vivos só podem estar vinculados uns aos outros no máximo como idéias na mente de um criador. Em contraste, quando todos os seres vivos – toda a diversidade biológica – são entendidos como ramos de uma única árvore evolutiva (Meyer & El-Hani 2000), a vida é naturalmente vista como um fenômeno unificado.

A compreensão da diversidade biológica como um conjunto de variações sobre um mesmo tema, a vida, leva naturalmente à busca de atributos compartilhados pelos seres vivos. A pesquisa biológica revelou, de fato, uma unidade desconcertante na diversidade da vida, na forma da universalidade do DNA como memória genética (com exceção dos vírus de RNA, se forem considerados vivos), na quase universalidade do código genético, no compartilhamento de vias metabólicas básicas etc. Diante disso, pode-se pensar que definições de vida consistentes e bem formuladas são encontradas no começo de todo bom livro de Biologia. No entanto, definições de vida são raramente discutidas em profundidade e às vezes não são sequer mencionadas em livros-texto ou dicionários de Biologia (Emmeche 1997, El-Hani & Kawasaki 2000). Na história da Biologia, a raridade das tentativas de refletir crítica e sistematicamente sobre a natureza dos seres vivos e a definição de vida causa perplexidade. A expectativa natural é que biólogos, na medida em que se dedicam à ‘ciência da vida’, sejam compelidos a buscar uma definição clara de seu objeto de estudo, no sentido mais geral. Além disso, esperar-se-ia também que filósofos se interessassem pela questão, dado que a filosofia se debruçou no passado sobre o problema da natureza da vida. O que se observa, entretanto, é que a maioria dos filósofos atualmente ignora a questão, como se o problema da natureza da vida fosse apenas pertinente ao domínio dos discursos científicos sobre este fenômeno. É como se o problema da vida parecesse, hoje, muito ‘científico’ para ser objeto de trabalho de um filósofo. Para os biólogos, por sua vez, o tópico parece ‘filosófico’ demais (Bedau 1996). Assim, o problema da natureza da vida se tornou uma terra de ninguém, o que explica a falta, num século que viu a pesquisa biológica florescer e aprofundar-se como nunca antes, de uma discussão séria e continuada a seu respeito.

As tentativas de definir vida foram freqüentemente entendidas como especulações ‘meramente teóricas’ ou ‘metafísicas’, sendo contrastadas, de maneira a denegri-las, com os ‘fatos’ da pesquisa experimental (Emmeche 1997, Emmeche & El-Hani 2000). James Watson (1986:31) lamenta o fato de que cientistas inteligentes se preocupem com a ‘filosofia da célula’, em vez de dedicarem-se à Biologia experimental, afirmando que não

deseja sofrer do que chama de ‘doença alemã’, um interesse pela filosofia, e manifestando sua aversão a “abstrações que não conduzem a nada”. Contudo, a Biologia não pode limitar-se à vida de laboratório (Emmeche & El-Hani 2000). Como em qualquer ciência, a construção de teorias, uma tarefa que freqüentemente nos leva a um terreno fronteiro com a filosofia, é igualmente importante. Uma Biologia teórica é tão fundamental para o crescimento das ciências da vida quanto uma Biologia empírica (incluindo, mas não limitando-se à Biologia experimental). Admitido este ponto, pode-se até mesmo afirmar, como Rizzotti (1996), que definir ‘vida’ é o *problema central da Biologia teórica*. Afinal, para entender essa ciência denominada ‘Biologia’, é necessário compreender a natureza de seu objeto de estudo, a vida.

Nessa empreitada, é importante não perder de vista que investigar definições de vida significa trabalhar no componente metafísico dos paradigmas biológicos (*cf.* Kuhn 1996), lidando com um tipo muito geral de objetos científicos, que são parte da ontologia da ciência. Emmeche (1997) inventou um conceito útil, ‘ontodefinição’, para denominar as definições propostas para estes tipos muito gerais de objetos, que se encontram na fronteira entre ciência e metafísica, como ‘vida’, ‘mente’, ‘matéria’, ‘consciência’, ‘espaço’, ‘tempo’ etc. A investigação de ontodefinições pode ser considerada parte do trabalho de um metafísico moderno, entendendo-se a metafísica, segundo Harré (1985), como a teoria dos conceitos e de suas relações. Um metafísico moderno deve, salienta Harré, buscar a clareza do pensamento através de um estudo cuidadoso dos conceitos, dando especial atenção ao papel destes nos jogos de linguagem da ciência. Um aspecto importante de seu trabalho consiste na análise das relações entre conceitos. Este artigo se vincula, assim, também ao tipo de investigação metafísica descrito por Harré, dado que pretendemos analisar a relação entre os conceitos de ‘vida’, na Biologia teórica, e da Terra como um ser ‘vivo’, na teoria Gaia, buscando compreender as possibilidades e limitações deste último.

Nos casos em que definições de vida foram propostas, a apresentação de listas de propriedades encontradas em seres vivos, mas não em objetos inanimados, se destaca como a abordagem mais usual. Crick (1981), por exemplo, menciona auto-reprodução, genética e evolução, e capacidade de metabolizar; Küppers (1985) lista metabolismo, auto-reprodução e mutabilidade; De Duve (1991) se refere a assimilação, conversão de energia em trabalho, catálise, informação, isolamento controlado, auto-regulação e multiplicação; Mayr (1982) cita complexidade e organização, singularidade química, qualidade, individualidade e variabilidade, presença de um programa genético, natureza histórica, seleção natural e indeterminação. Vários outros exemplos poderiam ser citados, mas estes são suficientes para nossos argumentos. A tentativa de caracterizar a vida através de listas de propriedades envolve problemas difíceis ou até mesmo impossíveis de solucionar. Comparando-se as listas apresentadas acima, não são encontradas muitas concordâncias. Considere-se, então, o problema do número e tipo das propriedades que deveriam ser incluídas numa lista de condições necessárias e suficientes para a vida. De todas as listas possíveis de propriedades, como escolher aquela que seria a mais correta? Como garantir que uma propriedade crucial não foi deixada de fora? Ou que uma propriedade desnecessária não foi incluída? Nós simplesmente não estamos em posição de responder a essas questões, porque não temos e nem há maneira de termos acesso à vida em si mesma, a alguma ‘essência’ da vida que pudesse servir de parâmetro para respondê-las. Diante da dificuldade ou mesmo impossibilidade de definir vida por meio de listas de propriedades, a inadequação das

analogias entre propriedades da Terra e de seres vivos utilizadas por Lovelock como base para a caracterização da Terra como um organismo se torna evidente.

Nenhuma lista de propriedades pode ser considerada uma solução adequada para o problema de definir vida. É importante, possivelmente indispensável, relacionar de maneira consistente as propriedades listadas umas com as outras, explicando-as sempre que possível à luz de algum paradigma biológico (Emmeche 1997; Emmeche & El-Hani 2000).¹¹ Nesses termos, a tarefa de definir ‘vida’ é entendida como uma tentativa de explicitar as relações deste conceito com um conjunto de outros conceitos incluídos em algum paradigma. É preciso, então, considerar, ainda que brevemente, como conceitos adquirem significado dentro de paradigmas. Num paradigma, conceitos são definidos em termos de outros conceitos. Em princípio, isso deveria levar a um sério problema de regressão infinita das definições (*cf.* Chalmers 1995:110). Isso não ocorre, no entanto, nos paradigmas científicos, porque o significado de um conjunto de conceitos é compartilhado em tal extensão pela comunidade de pesquisadores que eles não precisam ser definidos, sendo tomados como auto-evidentes. Isso permite, por um lado, a construção de definições para os outros conceitos no domínio daquele paradigma, e, por outro, circunscreve as possibilidades de aplicação destas. Assim, conceitos não adquirem, num paradigma, significado de maneira isolada, nem através de alguma suposta relação entre o ato de defini-los (*i.e.*, de atribuir-lhes um significado particular) e a realidade. Definir ou explicar um conceito como parte de um paradigma implica introduzi-lo numa rede de conceitos que mutuamente se suportam e atribuem significado uns aos outros, sobre a base de um conjunto de conceitos tomados como auto-evidentes (ainda que, em sentido estrito, não o sejam). O significado de um conceito emerge de suas conexões com os demais elementos de uma rede de conceitos incluída num paradigma (Emmeche & El-Hani 2000).

Bedau (1996) observa que o que se está buscando, ao discutir-se o problema de definir vida, é uma explicação do *porquê* de um conjunto de propriedades coexistirem nos seres vivos, de modo que uma lista de propriedades, em vez de resolver a questão, apenas a levanta. Poder-se-ia argumentar que a lista é algo como uma síndrome médica, nada mais que uma coleção de sintomas, que poderia não ter qualquer causa subjacente. Mas o argumento não se sustenta, porque quando uma síndrome médica é descoberta, o passo seguinte é investigar as causas subjacentes à coexistência daquela lista de sintomas, e não tomar a lista como um ponto final satisfatório. Assim, causas para o que anteriormente *parecia* ser apenas uma síndrome são frequentemente encontradas. Da mesma maneira, listas de propriedades dos seres vivos não são uma solução para o problema de definir vida. Elas antes colocam o problema de encontrar-se algum conjunto de causas e, assim, alguma explicação subjacente àquela conjunção de propriedades características da vida. Um

¹¹ Emmeche & El-Hani (2000) comparam as abordagens de Mayr (1982) e Maynard Smith (1986) de modo a destacar as diferenças entre definições de vida essencialistas e paradigmáticas. Neste trabalho, caracterizamos a teoria da autopoiese e, com um pouco mais de dúvida, a biossemiótica como ‘paradigmas’ (ver abaixo), em vez de restringirmos este termo à estrutura teórica dominante na biologia, o neodarwinismo. Kuhn introduziu o conceito de ‘paradigma’ a partir da descoberta de que muitos campos do conhecimento, especialmente na ciência moderna, funcionam de acordo com tradições de pesquisa baseadas num consenso relativamente firme entre os praticantes. A noção inicial de paradigma enfatizava, assim, um consenso universal entre os pesquisadores de um dado campo. No entanto, como fases em que não há consenso universal podem ser encontradas na maioria das ciências, a propriedade da aceitação universal dos paradigmas sofreu uma retração nas obras de Kuhn (Hoyningen-Huene 1993). Esta foi a base para utilizarmos a noção de ‘paradigma’ de maneira mais ampla. Sobre a noção de ‘paradigma’, ver Kuhn (1996), Lakatos & Musgrave (1979), Hoyningen-Huene (1993). Uma análise mais aprofundada do que Emmeche & El-Hani (2000) chamam de ‘visão paradigmática das definições’ será feita em trabalhos futuros.

paradigma biológico no qual seja possível propor ou descobrir uma definição para o termo ‘vida’ deve ser potencialmente capaz, também, de oferecer uma explicação para a coexistência de elementos que antes eram apenas parte de uma lista mais ou menos frouxa de propriedades. Este é um dos requisitos que podem ser considerados ao examinar-se definições de vida no contexto de um paradigma.

Emmeche (1997) propõe outros requisitos para uma definição de vida: *Generalidade* – a definição deve ser capaz de incluir, na medida do possível, todas as formas possíveis de vida, e não apenas as formas contingentes da vida como a conhecemos na Terra; *coerência com o conhecimento científico atual* – a definição deve ser coerente com o conhecimento atual sobre os sistemas vivos, baseado na pesquisa biológica, química e física; *elegância conceitual e capacidade de organização cognitiva* – a definição deve ser capaz de propiciar um perfil claro ao objeto de estudo da Biologia como um todo, organizando nossas teorias e nossos modelos cognitivos sobre os sistemas vivos de maneira unificada e coerente; *especificidade* – a definição deve ser suficientemente específica para distinguir sistemas vivos de coisas que obviamente não são vivas.

Quando o procedimento de listar propriedades dos seres vivos é colocado de lado como solução para o problema de definir vida, propondo-se em seu lugar a análise das relações entre este conceito e outros conceitos incluídos de maneira coerente em paradigmas biológicos, a conclusão a que se chega é que não só é possível definir vida, mas já existem na Biologia atual pelo menos três definições de vida que satisfazem os requisitos acima (Emmeche 1997, Emmeche & El-Hani 2000). Estas definições são encontradas na Biologia evolutiva neodarwinista, na teoria da autopoiese e na biossemiótica.

Vida como a seleção natural de replicadores

A síntese neodarwinista tem sido, desde a década de 1940, a teoria mais influente nas Ciências Biológicas. Ela propicia a explicação científica mais aceita da diversidade dos seres vivos, cumprindo um papel central e, em grande medida, unificador no pensamento biológico contemporâneo. É relevante, então, que uma definição de vida possa ser encontrada de maneira implícita na biologia evolutiva neodarwinista. É fácil explicitá-la e, isso feito, é provável que a maioria dos biólogos evolutivos a aceite sem dificuldade. Ela exemplifica uma das situações na qual uma definição de vida pode ser encontrada num paradigma, *i.e.*, como um elemento implícito em sua rede de conceitos.

Maynard Smith buscou explicitar essa definição, afirmando que a vida pode ser definida mediante a presença das propriedades necessárias para evolução por seleção natural: “... entidades com as propriedades de multiplicação, variação e hereditariedade são vivas, e entidades que não possuem uma ou mais destas propriedades não o são” (Maynard Smith 1986:23). Emmeche, por sua vez, define a vida no contexto da biologia evolutiva neodarwinista como segue: “a vida é uma propriedade de populações de entidades que (1) se auto-reproduzem, (2) herdaram características de seus predecessores por um processo de transferência informacional de características hereditárias (implicando uma distinção entre genótipo e fenótipo), (3) variam devido a mutações aleatórias (no genótipo), e (4) têm as chances de deixar descendentes determinadas pelo sucesso da combinação de propriedades (herdadas como genótipo e manifestas como fenótipo) diante dos desafios do regime seletivo ambiental” (Emmeche 1997).

Essas definições satisfazem os requisitos propostos acima. Porém, considerando-se sua generalidade, é preciso enfatizar que termos como ‘genótipo’ e ‘fenótipo’ não implicam necessariamente genes feitos de DNA e organismos compostos de células, devendo ser interpretados como referências gerais a quaisquer tipos de replicadores e interagentes. Um replicador, conforme definido por Dawkins (1979:36), é uma molécula que apresenta a propriedade de fazer cópias de si mesma, ou, em termos mais gerais, qualquer estrutura que, no ambiente correto, pode agir como molde para sua própria cópia (Sterelny 2001:17). Um interagente é qualquer entidade que interage como um todo com o ambiente, com seu sucesso adaptativo frente às pressões seletivas presentes em cada circunstância ambiental determinando as chances de os replicadores passarem cópias para a próxima geração (Hull 1981).¹²

Vida como autopoiese

Uma definição de vida é encontrada na teoria da autopoiese, desenvolvida por Maturana e Varela na década de 1960. Esta teoria resultou da tentativa de Maturana de resolver duas questões aparentemente distintas com as quais se defrontou em sua atividade profissional: Qual é a característica distintiva de um sistema vivo? O que acontece no fenômeno da percepção? Maturana observou que a principal questão colocada por seus estudantes dizia respeito às propriedades que distinguem os seres vivos dos objetos inanimados. Entrementes, seus estudos sobre a visão de formas e cores em pássaros resultou em dados inusitados, que o levaram a inferir que a relação entre a retina e os estímulos físicos externos não era o principal fator a ser considerado, mas antes a relação entre as atividades retiniais e as experiências de percepção de cor daqueles animais. A percepção não parecia ser uma representação de uma realidade externa, mas uma criação incessante de novas relações dentro de redes neurais. Ele havia chegado, pelo caminho da Neurofisiologia, a considerações sobre a natureza da percepção que a Filosofia tinha alcançado anteriormente por outros caminhos (El-Hani & Pereira 2001). Para Maturana, isso mostrava que as atividades do sistema nervoso eram determinadas pelo próprio sistema nervoso, e não pelo ambiente externo. O sistema nervoso funcionaria como uma rede fechada de interações neurais (Maturana & Varela 1980).

Maturana percebeu, então, que poderia responder às duas questões de maneira similar. Tanto o sistema nervoso como os seres vivos pareciam apresentar uma organização circular (Maturana & Varela 1980). Colaborando com Varela, que havia sido seu estudante, ele criou o termo ‘autopoiese’ (que significa literalmente ‘auto-produção’ ou ‘auto-criação’) para designar sua teoria da organização dos sistemas vivos. De acordo com a teoria autopoietica, um sistema vivo é uma unidade fechada organizacionalmente mas aberta estruturalmente, *i.e.*, trata-se de uma rede de componentes na qual (i) os componentes produzem a própria rede (e seus contornos), que, por sua vez, produz os componentes; e (ii) há troca de matéria e energia com outros sistemas que se acoplam àquela rede.¹³ Um sistema

¹² Para maiores detalhes sobre essa definição de vida, especialmente sobre as versões elaboradas nas perspectivas teóricas de Dawkins (1976) e Hull (1981), ver Emmeche (1997) e Emmeche & El-Hani (2000).

¹³ Esta breve discussão da teoria autopoietica não faz justiça aos escritos complexos de Maturana e Varela. Por exemplo, termos como ‘organização’ e ‘estrutura’ recebem na teoria definições específicas que não discutimos em detalhe acima. Sugerimos ao leitor que consulte os trabalhos originais (*e.g.*, Maturana & Varela 1980, Varela 1979,

vivo é descrito por Maturana e Varela (1980:135) como “uma máquina que é organizada (definida como uma unidade) como uma rede de processos de produção, transformação e destruição de componentes que produz os componentes que: (i) através de suas interações e transformações regeneram e realizam a própria rede de processos que os produziu; e (ii) a constituem (a máquina) como uma unidade concreta no espaço na qual eles (os componentes) existem mediante a especificação do domínio topológico de sua realização como tal rede”. A organização circular é, na teoria da autopoiese, o aspecto definidor dos sistemas vivos: eles produzem a si próprios, enquanto sistemas não-vivos (alopoiéticos) não o fazem. Fenômenos biológicos como evolução, auto-reprodução e replicação seriam secundários à constituição de unidades autopoieticas no espaço físico.

A definição autopoietica não se refere apenas ao exemplo particular de vida encontrado na Terra. Essa definição é coerente com o conhecimento biológico atual e, a despeito do estilo difícil da teoria, oferece uma maneira particular e logicamente consistente de ver a vida, com capacidade de organizar o conhecimento a este respeito. A definição da vida como autopoiese parece, em princípio, ser suficientemente específica para capturar aspectos fundamentais da vida biológica, ainda que problemas possam ser detectados neste caso (ver abaixo). A teoria da autopoiese contém, em suma, uma definição de vida que parece satisfazer os requisitos discutidos acima. Como esta definição foi criada deliberadamente para responder à questão ‘O que é vida?’, ela é um exemplo característico de definição de vida encontrada como um elemento explícito na rede de conceitos de um paradigma.

Vida como um fenômeno semiótico

A biossemiótica é uma nova perspectiva na Biologia teórica, que busca compreender a vida como um fenômeno baseado na comunicação de signos na natureza (Emmeche & Hoffmeyer 1991; Merrell 1996; Emmeche 1997; Hoffmeyer 1997). Ela pode ser vista como um programa de pesquisa que almeja reconstruir uma história natural dos signos, descrever a evolução de diferentes sistemas de signos e interpretação de signos, desde os sistemas genéticos até a linguagem humana. No entanto, questões fundamentais acerca da natureza da biossemiótica ainda permanecem:

“A biossemiótica poderia realmente ser um novo paradigma para a Biologia teórica que – assim como a moderna teoria sintética da evolução – seria capaz de orientar a pesquisa experimental em subdisciplinas específicas e propiciar uma estrutura coerente para o estudo da vida? Ou seria ela, antes, uma reflexão metateórica sobre as condições de possibilidade da pesquisa biológica [...]? Ou seria um tipo de nova filosofia da natureza, na qual o mundo é visto, desde seu início, como um universo vivo pleno de significado, com potencial inato para a geração criativa de nova significação?” (Emmeche 1997).

Na biossemiótica, a ênfase não recai sobre a seleção natural de replicadores ou o fechamento organizacional dos sistemas vivos, mas sobre as relações mediadas por signos

Maturana 1997). Nós apenas examinamos a definição de vida incluída na teoria, não nos propondo a considerar outros aspectos epistemológicos e ontológicos interessantes. Embora Maturana e Varela tenham trabalhado juntos, há diferenças importantes em suas visões acerca da autopoiese e autonomia dos seres vivos, que se tornaram evidentes quando eles passaram a trabalhar separadamente (ver Pereira 1997). Uma análise mais detalhada da definição da vida como autopoiese é encontrada em Emmeche (1997) e Emmeche & El-Hani (2000).

em todos os níveis biológicos (Emmeche 1997). A definição semiótica de vida constitui outro exemplo de definição implícita num paradigma (Emmeche, comunicação pessoal).¹⁴ Numa tentativa de explicitá-la, Emmeche (1997) define ‘vida’ no contexto da biossemiótica como a interpretação funcional de signos em sistemas materiais auto-organizados. Emmeche e El-Hani (2000) apresentam uma versão simplificada desta definição, explicando a vida como uma propriedade de sistemas materiais auto-organizados capazes de utilizar informação de maneira a realizar funções favorecendo sua adaptação e sobrevivência.¹⁵

A Terra é um ser vivo?

Podemos examinar agora se a idéia de que a Terra é um ser vivo pode ser justificada com base em alguma (ou algumas) das definições discutidas acima.

Verifiquemos, primeiro, se a Terra pode ser considerada ‘viva’ se a vida for caracterizada pela presença numa população de entidades das propriedades necessárias para assegurar a evolução por seleção natural. Uma das razões pelas quais a teoria da seleção natural é um marco na história da Biologia diz respeito à transição de um pensamento tipológico para um pensamento populacional (Mayr 1976, 1982, 1988; Sober 1980). Antes dela, a evolução era entendida como um processo transformacional. A teoria da evolução de Lamarck, por exemplo, explica a modificação das espécies ao longo do tempo com base na transformação individual de cada organismo em sua história de vida (Lamarck [1809]1984, Burkhardt 1984). A teoria da seleção natural, em contraste, explica a evolução como uma mudança ao longo do tempo nas proporções dos organismos variantes que compõem as populações (Darwin [1859]1995, Lewontin [1983]1985, Meyer & El-Hani 2000). Como um processo variacional, e não transformacional, a evolução biológica sempre envolve *populações*. Por exemplo, caso se queira falar numa evolução ‘química’ ou ‘pré-biótica’ (*cf.* Sterelny 2001:17), não se deve perder de vista que se trata de um fenômeno qualitativamente distinto da evolução biológica. As substâncias químicas mudam através do tempo como entidades individuais, passando por uma seqüência de estágios de transformação. Enquanto a evolução biológica implica uma mudança na distribuição das freqüências das características fenotípicas e das freqüências gênicas nas populações ao longo do tempo, a ‘evolução’ química na Terra primitiva envolveu apenas a transformação das características de entidades individuais.

A Terra é, obviamente, uma entidade individual única, e não um membro de uma ‘população de planetas’. Pode-se afirmar que a Terra ‘evolui’ através do tempo, mas ela o faz como uma entidade individual, mediante um processo transformacional, e não variacional. Há mais diferenças do que semelhanças entre a ‘evolução’ da Terra e a evolução dos organismos. A Terra não apresenta qualquer propriedade de ‘memória genética’ e não pode reproduzir-se.¹⁶ Não há dúvida, em suma, de que a Terra não pode ser considerada viva com base na definição de vida implícita na síntese neodarwinista.

¹⁴ Emmeche considera a idéia de Sebeok da célula como unidade semiótica mínima como uma indicação de que vida e semiose (a ação de signos) são coextensivas, embora não seja uma definição explícita de vida.

¹⁵ Para detalhes sobre a definição de vida como um fenômeno semiótico, ver Emmeche (1997) e Emmeche & El-Hani (2000).

¹⁶ Heather Douglas e Robert Pennock (comunicação pessoal) sugeriram que a panspermia cósmica e uma possível colonização de outros planetas pela espécie humana poderiam contar como casos de reprodução planetária. Parece-nos, contudo, que esses processos não são análogos a uma ‘reprodução’, mas a uma ‘infecção’ de um planeta por entidades oriundas de outros planetas.

Lovelock (in: Spowers 2000:27) afirma que “a Terra claramente não é um organismo” se os seres vivos forem entendidos como entidades que se reproduzem e obedecem às leis da seleção natural. Ele levanta, contudo, uma dúvida: “Gaia é única no sentido de que teve um tempo de vida de pelo menos 3,8 bilhões de anos. Quem sabe se ela se reproduz ou não!”. Quanto a este argumento, é suficiente dizermos que nosso esforço de esclarecer os conceitos em questão não deve perder-se num terreno de pura especulação, sem uma fundamentação teórica que permita conceber uma suposta ‘reprodução’ da Terra. Lovelock também argumenta que a Terra tem outros atributos da vida tão importantes quanto a reprodução, como o metabolismo e a capacidade de homeostase. Ele cita em apoio ao mesmo argumento o exemplo de uma espécie de choupo que, apesar de tratar-se obviamente de um organismo, não seria capaz de reproduzir-se (Lovelock 1991a:34). No entanto, tendo-se em vista que a espécie citada é “capaz de propagar-se apenas através de cortes” (Lovelock 1991a:33), trata-se de um caso em que certamente ocorre reprodução, mas esta é assexuada. Além disso, não basta listar propriedades para caracterizar o que é um ser vivo, como argumentado acima. É preciso relacionar as propriedades citadas de maneira consistente, no contexto de um paradigma definido. Lovelock não leva a cabo essa empreitada.

Na biossemiótica, a vida é definida como a interpretação funcional de signos em sistemas materiais auto-organizados. A seguinte questão pode ser levantada, caso queiramos fundamentar a proposição de que a Terra é um ser vivo a partir de tal definição: Quais seriam os sistemas de reconhecimento e interpretação de signos do planeta como um todo? Ou, alternativamente, poderíamos encontrar no planeta sistemas dessa natureza que não fossem aqueles mesmos utilizados pelos organismos que são exemplos paradigmáticos de ‘seres vivos’? Talvez alguém se sinta motivado, diante de tal desafio, a tentar descrever sistemas de reconhecimento e interpretação de signos supostamente existentes na Terra como um todo, mas certamente não seria fácil conceber e/ou descobrir tais mecanismos. É possível argumentar que os sistemas de reconhecimento e interpretação de signos do planeta são exatamente os organismos. Mas, então, por que qualificar o planeta inteiro como vivo desta perspectiva? É mais parcimonioso simplesmente afirmar, como sempre se afirmou, que tais organismos são vivos. Pode-se concluir que é provavelmente difícil conceber a Terra como um sistema vivo com base na definição biossemiótica de vida proposta por Emmeche (1997).

Na teoria autopoietica, a organização circular dos sistemas vivos é considerada seu principal atributo definidor. Proposições centrais da teoria Gaia, como a de que o sistema compreendendo a biota e o ambiente físico-químico é capaz de exibir auto-regulação, mantendo a homeostase planetária, sugerem ser possível pensar na Terra, tal como caracterizada nesta teoria, como uma unidade autopoietica. Esta idéia foi defendida por Margulis & Sagan (1986) e Capra (1996:213-216). Capra observa que a rede global de processos de produção e transformação de substâncias descrita pela teoria Gaia é similar à rede encontrada em sistemas vivos que serviu como base para a formulação da definição da vida como autopoiese por Maturana e Varela. Em sua visão, Gaia é “talvez a expressão mais surpreendente e bela da auto-organização – a idéia de que o planeta Terra como um todo é um sistema vivo, que se auto-organiza” (Capra 1996:100).

A idéia de que a Terra é um sistema autopoietico requer, contudo, análise cuidadosa. Fleischaker (1988) questiona se há quaisquer outros exemplos de sistemas autopoieticos além dos seres vivos. A questão é pertinente, dado que a teoria da autopoiese tem sido aplicada aos mais diversos campos do conhecimento, muitas vezes sem uma justificativa

teórica adequada da natureza autopoietica dos sistemas estudados. Fleischaker (1990) propõe três critérios para a caracterização de um sistema como autopoietico: o sistema deve ser *auto-limitado* (*self-bounded*), *auto-generativo* (*self-generating*) e *auto-perpetuado* (*self-perpetuating*). Num sistema auto-limitado, a extensão do sistema é determinada por um limite que é parte integral da rede de relações que compõe o sistema. Num sistema auto-generativo, todos os componentes, incluindo aqueles que formam o limite do sistema, são produzidos por processos interiores à rede. Num sistema auto-perpetuado, os componentes são constantemente produzidos, sendo, portanto, continuamente substituídos pelos processos de transformação do sistema. Capra (1996:214-215) utiliza esses critérios para justificar a idéia de que a Terra é um sistema autopoietico, argumentando que ‘Gaia’ é auto-limitada, pelo menos no que concerne ao seu limite mais externo, a atmosfera, que é parte integral da rede planetária; que ‘Gaia’ é auto-generativa, porque todos os componentes da rede planetária são produzidos por processos interiores à rede; e, por fim, que ‘Gaia’ é auto-perpetuada, visto que os componentes dos oceanos, dos solos e do ar, bem como os organismos, são continuamente substituídos pelos processos planetários de produção e transformação. Em nossa visão, ele justifica de maneira convincente o entendimento de ‘Gaia’ como uma rede autopoietica.

Capra reconhece, contudo, que não é fácil pensar em ‘Gaia’ como um ser vivo de uma maneira concreta, colocando algumas questões que indicam, em nossa visão, que a caracterização da Terra como um ser vivo com base na teoria autopoietica pode não resistir à aplicação do princípio da parcimônia: “O planeta inteiro está vivo, ou apenas certas partes? E se for o último caso, quais partes?” (Capra 1996:214). Ele se refere, então, à analogia entre a Terra e uma árvore proposta por Lovelock (ver acima), concluindo que, como “... a Terra é coberta por uma fina camada de *organismos vivos*”, então “a parte viva de Gaia não é mais que um fino filme ao redor do globo” (Capra 1996:214). Ele escreve, ainda, que “nem a atmosfera acima de nós nem as rochas abaixo estão vivas, mas foram moldadas e transformadas consideravelmente pelos organismos vivos”. Margulis e Sagan (1986:66), por sua vez, afirmam de maneira sintomática que “há pouca dúvida de que a *pátina* planetária – incluindo a nós próprios – é autopoietica” (grifo nosso). Ora, se a afirmação de que a Terra é viva não for entendida como uma referência a uma caracterização do planeta como um todo, mas apenas à fina camada de seres vivos que o recobre, qual seria a vantagem de tal qualificação? É difícil ver como a inferência de que a Terra é um ser vivo com base na observação de que ela é coberta por uma fina camada de seres vivos poderia sustentar-se diante de uma aplicação do princípio da parcimônia. É certamente mais parcimonioso afirmar-se que a Terra, como um todo, não é um ser vivo, mas está coberta por seres vivos, e a biota é capaz de regular o ambiente físico-químico, por estar intimamente acoplada a ele.

É tentadora a possibilidade de considerarmos a Terra como algo que *obviamente* não é vivo e, então, analisarmos as definições de vida acima com base no requisito da especificidade. Nesses termos, a conclusão de que a Terra pode ser considerada viva à luz da teoria da autopoiese seria entendida como uma evidência da natureza inespecífica da definição de vida encontrada em tal teoria. Esta definição não poderia ser considerada válida, dados os requisitos propostos por Emmeche (1997). Por um lado, é possível argumentar-se a favor de tal teste, enfatizando-se que a caracterização da Terra como um ser vivo estende o conceito de vida para além de seu domínio usual (Bedau 1996). Por outro, devemos ser cautelosos, na medida em que a suposição de que a Terra ‘obviamente’ não é viva pressupõe alguma noção de vida, o que tornaria a argumentação circular. No entanto,

considerando-se que a argumentação de Capra a favor da natureza autopoietica do sistema descrito pela teoria Gaia é convincente, mas que ele próprio afirma que apenas uma parte do planeta é viva, a biosfera, podemos concluir que, embora aquele sistema possa ser considerado autopoietico, entendê-lo como um sistema vivo não é mais do que afirmar, de maneira obscura e tautológica, que os seres vivos são vivos. Isso significaria, então, que haveria sistemas autopoieticos que não são vivos, o que coloca sob suspeita a definição da vida como autopoiese, no sentido preciso de que a autopoiese poderia ser uma propriedade de muitos tipos de sistemas, e não apenas dos organismos. Estes seriam casos especiais de sistemas autopoieticos, requerendo, para sua explicação e/ou definição no contexto de um paradigma definido, a referência a outras características que os diferenciariam dos demais casos de sistemas autopoieticos.

Implicações para o ensino de Biologia e o tratamento do tema transversal “meio ambiente”

Lovelock (in: Spowers 2000:27) afirma que sua teoria tem sido ensinada na Grã-Bretanha no nível universitário, mas como ‘ciência dos sistemas terrestres’ ou Biogeoquímica, e não como teoria Gaia. Ele atribui esta situação a um suposto temor que sua teoria despertaria pelo fato de reunir muitas disciplinas diferentes. Observa-se, contudo, uma demanda por abordagens interdisciplinares dos fenômenos naturais tanto na pesquisa científica como no ensino das mais diversas ciências, como reconhece o próprio Lovelock (1993:3), de modo que a reunião de muitas disciplinas não pareceria ser um empecilho, mas antes uma das razões para transpor-se a teoria Gaia para o conhecimento escolar. Afinal, no que diz respeito à interdisciplinaridade, não faz muita diferença falar-se em *Biogeoquímica*, como o próprio termo indica, ou em teoria Gaia. É razoável, então, reconhecer-se outros motivos, além daquele indicada por Lovelock, para uma resistência à transposição didática da teoria Gaia, merecendo destaque sua natureza controversa na própria comunidade científica e, conseqüentemente, o problema de sua cientificidade, discutido neste artigo.

A teoria Gaia poderia desempenhar um papel relevante no ensino médio e superior de Biologia. Ela poderia constituir, por exemplo, uma das bases para a construção de uma abordagem menos fragmentada do conhecimento biológico e até do conhecimento científico em termos mais gerais. A visão sistêmica do planeta que ela suscita torna possível reunir a Geologia, a Microbiologia, a Química Atmosférica, a Biologia Evolutiva, a Ecologia e outras ciências numa abordagem integrada de uma série de fenômenos naturais. Pode-se conceber, por exemplo, a perspectiva de uma integração, nos termos dessa teoria, da compreensão dos vários ciclos biogeoquímicos numa visão única sobre o sistema cibernético de controle do ambiente físico-químico pela biota. Ou a possibilidade de uma inter-relação mais íntima do estudo de teias tróficas com conteúdos concernentes a fatores abióticos como o clima e a temperatura. O próprio Lovelock indica essa possibilidade, ao comentar que sua teoria concebe a biota e as rochas, o ar e os oceanos como sistemas fortemente conjugados, que evoluem por um processo único, e não por vários processos separados, estudados em diferentes prédios das universidades (Lovelock 1997:621). De maneira similar, Baker (1993) considera que o emprego da teoria Gaia no ensino de Biologia pode enfatizar a natureza interdisciplinar da ciência e propiciar uma perspectiva planetária da Biologia. As implicações da visão sistêmica decorrente da teoria Gaia para a compreensão da Biologia e de outras ciências também são destacadas por Capra (1996).

No ensino de evolução, a teoria Gaia poderia oferecer uma oportunidade para a transposição didática da apreciação crítica do conceito de ‘adaptação’ que tem sido elaborada por biólogos evolutivos como Lewontin (1977[1985], 1983[1985], 2000) e Gould (Gould & Lewontin 1978, Gould 2002). Este conceito implica, na visão destes autores, a concepção de que os organismos se adaptam a um mundo externo mutável, que não é influenciado por eles, mas apenas coloca problemas que os organismos resolvem por meio da evolução. No entanto, o ambiente de um organismo não é, em termos causais, independente dele. Os organismos influenciam o ambiente em que vivem de diversas maneiras. A afirmação de que as mudanças ambientais são autônomas e independentes das mudanças sofridas pelas próprias espécies é, como afirma Lewontin (2000:48), ‘biologia ruim’, e qualquer ecólogo ou biólogo evolutivo sabe muito bem disso. Apesar de ter sido um importante instrumento heurístico na construção da teoria da evolução, o conceito de ‘adaptação’ é criticado por estes autores por veicular a idéia de que os organismos são objetos passivos de forças internas (genéticas) e externas (ambientais) autônomas. Lovelock afirma, de maneira similar, que considera a ‘adaptação’ uma noção dúbia, porque “no mundo real, o ambiente ao qual os organismos estão adaptando-se é determinado pelas atividades de seus vizinhos, e não somente pelas forças cegas da química e física. Em tal mundo, mudar o ambiente é parte do jogo da sobrevivência, e seria absurdo supor que os organismos iriam abster-se de mudar seu ambiente material se, fazendo isso, deixassem mais progênie” (Lovelock 1991a:32).

Os biólogos evolutivos que têm criticado a teoria neodarwinista da evolução usualmente não pretendem pôr de lado a noção de seleção natural, mas questionar alguns aspectos que, em sua visão, requerem reformulação, tais como: a idéia de que a seleção natural é um processo que atua em um único nível, na formulação original de Darwin, o do organismo, e no selecionismo gênico, o dos genes; a compreensão da seleção natural como o único processo responsável pelos padrões de mudança evolutiva, de modo que todo o poder explicativo na biologia evolutiva deveria ser atribuído a ela; a visão gradualista da evolução, de acordo com a qual todos os processos macro-evolutivos, que produzem os grandes padrões da história da vida, são simplesmente conseqüências de processos micro-evolutivos (Gould 2002). Não se trata de defender uma refutação da teoria darwinista e sua substituição por uma teoria evolutiva inteiramente nova (o que seria uma espécie de mudança paradigmática kuhniiana), mas de propor-se adições e reformulações que, sobre fundações darwinistas, resultem numa teoria diferente, em aspectos significativos, da síntese neodarwinista que tem dominado a biologia evolutiva desde a década de 1940, mas não a ponto de abandonar-se o núcleo selecionista do pensamento evolucionista (algo mais próximo da construção de uma nova teoria dentro de um programa de pesquisa lakatosiano). O que parece estar em elaboração no presente é uma nova teoria darwinista da evolução, incluindo vários níveis de seleção, reconhecendo o poder explicativo de outros fatores envolvidos na evolução, como as restrições ao processo evolutivo, e descrevendo processos macro-evolutivos que não são apenas uma extrapolação da micro-evolução (Gould 2002).

De maneira similar, Lovelock entende a teoria Gaia não como uma alternativa incompatível com a tradição darwinista, mas como um complemento, na medida em que trata da relação entre o sucesso evolutivo dos organismos e a ocorrência de um acoplamento adequado entre sua evolução e a evolução de seu ambiente material (Lovelock 1990:101, 1991a:41, 1991b:99, 1993:10, 1997:621). Em sua visão, Gaia torna possível unificar duas teorias diferentes da evolução, a biológica e a geológica, que têm coexistido separadamente desde o final do século XIX (Lovelock 1991a:31-33). Nesses termos, a teoria Gaia pode

mostrar-se heurísticamente fértil para as discussões contemporâneas sobre evolução, inclusive na sala de aula, desde que a relação entre o acoplamento de vida e ambiente postulado por ela e o sucesso evolutivo dos organismos seja formulada de maneira clara.

A contribuição da teoria Gaia não se limita ao ensino de Biologia. Tem-se argumentado que ela oferece uma nova maneira de olhar a Terra (Lovelock 1991a:41, 1993:10; Capra 1996:106), contribuindo para a promoção de uma conscientização ecológica nos estudantes. Lovelock (in: Spowers 2000:27) afirma que a teoria Gaia tem fortes implicações morais, na medida em que “uma das leis de Gaia é a de que qualquer espécie que prejudica seu ambiente o torna pior para sua progênie. Portanto, se ela continuar a fazer isso, será extinta. Inversamente, qualquer espécie que torna seu ambiente melhor para sua progênie tem uma vantagem” (ver também Lovelock 1997). Desse modo, esta teoria pode cumprir um papel importante no tratamento do tema transversal “meio ambiente” (MEC/SEF 1998, 1999), desde que sua situação no conhecimento escolar seja claramente demarcada, estabelecendo-se seu estatuto como conteúdo transposto do conhecimento científico aceito. Ainda que as discussões sobre meio ambiente não estejam restritas à esfera das ciências, o problema da cientificidade da teoria Gaia permanece, dada a necessidade de demarcação dos domínios dos diferentes discursos que coexistem no contexto escolar.

A transposição didática da teoria Gaia para o ensino de Biologia e o esclarecimento de seu estatuto entre os diferentes discursos que coexistem no tratamento do tema “meio ambiente” requerem uma apreciação de sua cientificidade. Neste artigo, realizamos uma análise da proposição de que a Terra é um ser vivo, uma das razões pelas quais a comunidade científica tem visto com suspeita a teoria Gaia, com base em três definições de vida diferentes. Outras definições de vida poderiam ser utilizadas nesta análise. Entretanto, o que consideramos mais importante é destacar que aquela proposição não pode ser justificada meramente através de analogias, sendo necessária uma análise conceitual como a que realizamos aqui. Para que a caracterização da Terra como um sistema vivo seja mantida no núcleo da teoria Gaia, é preciso fundamentá-la numa definição de vida formulada no contexto de um paradigma biológico. Caso isso seja feito, a proposição de que a Terra é um ser vivo se mostrará aceitável à luz do referencial teórico no qual teve lugar sua justificação. Podemos questionar, contudo, se esta proposição é, de fato, tão relevante para a elaboração da teoria Gaia a ponto de merecer tal esforço. Em nossa visão, nada de essencial será perdido na estrutura da teoria se tal proposição for posta de lado ou tiver sua importância substancialmente diminuída. As idéias nucleares da teoria Gaia podem ser formuladas de modo suficiente concebendo-se uma relação íntima entre os componentes vivo e não-vivo do planeta, de modo a formar um sistema auto-organizado, que evolui como um todo. É possível dizer, é claro, que a afirmação de que este sistema é vivo contribui para reforçar essas idéias nucleares, podendo ser entendida como uma metáfora. Entretanto, esta metáfora não deveria estar apoiada numa análise conceitual que justificasse a seleção de determinadas semelhanças entre os seres vivos e a Terra? E, caso esta análise fosse fornecida, diferenças fundamentais entre os seres vivos e a matéria inanimada não poderiam estar sendo perdidas de vista ao enfatizar-se determinadas analogias? Ou isso não poderia resultar, como sugere Kirchner (1993), numa confusão entre afirmações poéticas e hipóteses científicas, prejudicial para a visão das pessoas sobre a natureza da ciência?

A teoria Gaia apresenta poder preditivo, explanatório e heurístico, tem sido apoiada por evidências coletadas desde a década de 1970 e tem atraído a atenção de um número crescente de pesquisadores de diferentes campos do conhecimento científico. Assim, é razoável propor-se sua transposição didática para o conhecimento escolar de Biologia.

Entretanto, é importante não perder de vista, face a esta proposta, a aceitabilidade da teoria Gaia na comunidade científica e a demarcação dos conteúdos desta teoria compatíveis com o conhecimento científico contemporâneo. Grande parte da resistência à teoria Gaia nos meios científicos está relacionada à proposição de que a Terra é um ser vivo. Capra (1996:106-107), por exemplo, afirma que é “... tentador imaginar se esta reação altamente irracional da comunidade científica à hipótese Gaia foi provocada pela evocação de Gaia, o poderoso mito arquetípico. De fato, a imagem de Gaia como um ser sensível foi o principal argumento implícito para a rejeição da hipótese Gaia após sua publicação”. Embora Capra e o próprio Lovelock (e.g. Lovelock 1990) pareçam entender esta resistência como algo despropositado, nós pensamos que a comunidade científica tem uma boa justificativa para não aceitar tal caracterização da Terra na ausência de uma análise conceitual apropriada. Não se trata de resistir a qualquer mito arquetípico, mas de um requisito de rigor na formulação de nossas concepções teóricas.

Em nossa análise conceitual da proposição de que a Terra é viva, as seguintes conclusões foram obtidas: (i) esta proposição *certamente* não pode ser sustentada com base na definição de vida implícita na síntese neodarwinista; (ii) é *possível*, mas *muito difícil*, apoiá-la na definição de vida implícita na biossemiótica; (iii) a teoria autopoietica oferece, em princípio, a *melhor oportunidade* para caracterizar-se a Terra como um ser vivo, *mas* trata-se, ainda assim, de uma *proposição controversa*, uma vez que poderia ser entendida, antes, como um teste da validade da definição da vida como autopoiese, com base em um critério de especificidade. Desse modo, a caracterização da Terra como um ser vivo com base em sua natureza autopoietica apenas adiciona mais uma polêmica às várias controvérsias sobre a teoria Gaia.

Uma vez que a resistência à teoria Gaia tem a ver, em grande medida, com a idéia de que a Terra é viva, é razoável pensar-se que seria desejável, pelo menos, separar esta idéia das proposições nucleares da teoria. No entanto, Lovelock frequentemente a coloca no cerne de sua argumentação. O problema é que, ao fazê-lo, ele dificulta a aceitação de sua teoria com base numa proposição metafísica para a qual não oferece a sustentação necessária. É interessante observar que, quando Lovelock descreve sua teoria em artigos destinados aos seus pares, a afirmação de que a Terra é viva frequentemente não é mencionada (ver acima). Estamos inclinados a pensar que a afirmação de que a Terra é viva, embora apelativa para o senso comum, não traz contribuições importantes para a formulação precisa da teoria Gaia. Esta teoria teve diferentes formulações ao longo de sua história (Kirchner 1989, 1993; Wilkinson 1999b). Em sua formulação original, a Terra era descrita como um ‘super-organismo’ capaz de agir de modo a otimizar as condições para a vida. Embora esta descrição ainda seja encontrada em textos recentes, inclusive do próprio Lovelock, autores simpáticos à teoria Gaia, como Wilkinson (1999b), observam que ela não é apoiada por muitos cientistas que trabalham na área. Lovelock também tem mostrado-se, por vezes, mais cauteloso em relação a esta formulação da teoria (ver acima e tb. Lovelock 1995a). Para Wilkinson (1999b), a formulação da teoria que goza de maior apoio é Gaia homeostática, na qual a vida tem um grande efeito regulatório sobre o ambiente global, mas as idéias de super-organismo e otimização não são evocadas. É este tipo de formulação da teoria Gaia que defendemos aqui, por considerá-la de natureza mais claramente científica.

Em relação ao saber a ser ensinado, deve-se considerar se a afirmação de que a Terra é viva auxilia de algum modo a compreensão das redes de interação envolvendo os sistemas vivos e o ambiente físico-químico, ou se ela se mostra dispensável no uso da teoria Gaia como parte do conhecimento escolar. A caracterização da Terra como um ser vivo poderia

contribuir, por exemplo, para a conscientização ecológica dos alunos. Corre-se o risco, entretanto, de levá-los a uma compreensão equivocada da natureza da vida ou a uma confusão entre proposições metafísicas e hipóteses científicas no contexto de um paradigma. Nós consideramos suficiente, para que a teoria Gaia suscite uma mudança substancial no entendimento do planeta, a explicação da complexa rede de alças de retroalimentação descrita por Lovelock e Margulis e da capacidade de tal rede de regular o sistema planetário, acoplando intimamente os seres vivos e seu ambiente físico-químico.

As propostas recentes de incorporação da teoria Gaia ao ensino de Biologia e de outras áreas encontradas na literatura (Baker 1993, McGuire 1993, Haigh 2001) e a presença desta teoria entre os conteúdos de livros didáticos brasileiros (Amabis & Martho 1997; Marczewski & Vélez 1999) atestam sua seleção, entre os elementos do saber sábio corrente, como saber a ser ensinado, colocando, portanto, a necessidade de um trabalho de transposição didática. Vale a pena examinar, neste contexto, dois livros didáticos de Biologia do ensino médio publicados no Brasil nos quais a teoria Gaia é abordada.¹⁷ Amabis e Martho apresentam como principal conteúdo associado à teoria Gaia a proposição de que a Terra é viva. Eles se referem à Terra como um “grande organismo vivo do qual fazemos parte”, propondo ao aluno de Biologia que “imagine a Terra como um ser vivo de dimensões planetárias, e nossa própria espécie como parte desse todo vivo – seríamos um de seus tecidos” (Amabis & Martho 1997:583). A analogia entre a espécie humana e um tecido oferece um exemplo notável de um risco percebido por Kirchner na compreensão da Terra como um ser vivo, o de tratar afirmações poéticas como proposições científicas. A metáfora da Terra viva é estendida nessa proposição, suscitando uma outra analogia na qual há mais diferenças do que semelhanças entre os conceitos postos em relação. As idéias nucleares da teoria Gaia são mencionadas apenas de passagem por Amabis e Martho, que destacam a aceitação atual desta teoria pela comunidade científica. Eles utilizam a teoria Gaia para suscitar nos alunos uma conscientização ecológica, enfatizando a necessidade de cuidarmos da “saúde planetária”. Contudo, esta conscientização poderia ser suscitada sem necessariamente tratar-se a Terra como um ser vivo. Os próprios autores, afinal, reconhecem que “aceitando ou não a hipótese Gaia, temos de refletir com muita seriedade sobre a atuação do homem no planeta” (Amabis & Martho 1997:584). Marczewski e Vélez (1999:305), por sua vez, reproduzem uma reportagem da revista *Superinteressante*, publicada em Agosto de 1988, intitulada “Gaia: a Terra vive”. A abordagem é semelhante àquela discutida acima, com a proposição de que a Terra é viva sendo colocada em destaque, relativamente às idéias nucleares da teoria Gaia, ainda que estas mereçam maior atenção neste segundo livro. Assim como Amabis e Martho, Marczewski e Vélez vêm em Gaia um conteúdo capaz de suscitar nos estudantes uma conscientização ecológica.

A razão de ser das preocupações discutidas no presente artigo é posta em destaque pelo exame destes dois livros didáticos. Os argumentos aqui desenvolvidos indicam que a eliminação ou pelo menos a colocação em segundo plano da idéia de que a Terra é um ser vivo contribui para uma maior aceitação e uma melhor compreensão da teoria Gaia. Assim, no que diz respeito à transposição didática desta teoria, a proposta que decorre da análise epistemológica que realizamos é a de que se dê prioridade às suas proposições centrais, nucleares. A transposição didática da teoria Gaia poderia ser feita de maneira mais apropriada, bem como sua testabilidade e seu conteúdo empírico seriam mais

¹⁷ Estes livros foram selecionados de uma amostra de 20 obras nas quais Kawasaki & El-Hani (2002a,b) estão analisando as visões sobre definições de vida. Essa amostra foi construída mediante a combinação dos resultados de dois levantamentos: 1) dos livros didáticos de Biologia do ensino médio mais utilizados em Ribeirão Preto-SP; 2) dos livros didáticos de Biologia do ensino médio publicados pelas editoras que dominam o mercado naquela cidade.

adequadamente enfatizados, se a asserção de que a Terra é viva fosse claramente separada do núcleo duro da teoria ou até mesmo eliminada. As razões que levam a esta conclusão são, primeiro, a inadequação de sustentar-se uma proposição metafísica, não-testável, como a de que a Terra é viva, na ausência de uma definição de ‘vida’ formulada de maneira consistente, e, segundo, as dificuldades encontradas na tentativa de apoiar esta proposição em definições de vida encontradas na síntese neodarwinista, na biossemiótica, e inclusive na teoria da autopoiese.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a Olival Freire Jr. e Luiz Felipe Serpa pelos comentários a versões preliminares deste trabalho, a dois árbitros anônimos pelas contribuições significativas para a preparação da versão final, a Clarice Sumi Kawasaki pela indicação dos livros didáticos de Biologia, e a Cláudia Sepúlveda e Martha Marandino pelas discussões sobre transposição didática.

Referências

- AMABIS, J. M. & MARTHO, G. R. (1997). *Fundamentos de Biologia Moderna*. São Paulo: Moderna.
- ASTOLFI, J. P. & DEVELAY, M. (1991). *A Didática das Ciências*. Campinas: Papirus.
- BAKER, G. A. (1993). Using the Gaia hypothesis to synthesize an introductory biology course. *American Biology Teacher*, 55(2):115-116.
- BECKERMANN, A.; FLOHR, H. & KIM, J. (Eds.). (1992). *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*. Berlin: Walter de Gruyter.
- BEDAU, M. A. 1996. The nature of life, in: BODEN, M. A. (Ed.). *The Philosophy of Artificial Life*. Oxford: Oxford University Press. pp. 332-357.
- BERGANDI, D. (2000). Eco-cybernetics: the ecology and cybernetics of missing emergences. *Kybernetes*, 29(7-8):928-942.
- BLITZ, D. (1992). *Emergent Evolution: Qualitative Novelty and the Levels of Reality*. Dordrecht: Kluwer.
- BOWLER, P. J. (1989). *Evolution: The History of an Idea*. Chicago: The University of Chicago Press.
- BRADIE, M. (1980). Models, metaphors and scientific realism. *Nature and System*, 2:3-20.
- BRADIE, M. (1984). The metaphorical character of science. *Philosophia Naturalis*, 21:229-243.
- BRADIE, M. (1995). Metaphor, rhetoric and science, in: KRIPS, H.; MCGUIRE, J. E. & MELIA, T. (Eds.). *Science, Reason and Rhetoric*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- BROCKS, J. J.; LOGAN, G. A.; BUICK, R. & SUMMONS, R. E. (1999). Archean molecular fossils and the early rise of eukaryotes. *Science*, 285:1033-1036.

- BURKHARDT, R. W., Jr. (1984). The Zoological Philosophy of J. B. Lamarck, in: LAMARCK, J. B. *Zoological Philosophy*. Chicago: The University of Chicago Press. pp. xv-xxxix.
- CAMPBELL, N. A. (1996). *Biology*. San Francisco: Benjamin/Cummings.
- CAPRA, F. (1983). *The Turning Point: Science, Society, and the Rising Culture*. New York: Bantam Books.
- CAPRA, F. (1996). *The Web of Life*. New York: Anchor Books.
- CHALMERS, A. F. (1995). *O Que é Ciência Afinal?*. São Paulo: Brasiliense.
- CHEVALLARD, Y. (1991). *La Transposición Didáctica: Del Saber Sabio al Saber Enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- CRICK, F. (1981). *Life Itself: Its Origin and Nature*. New York: Simon and Schuster.
- DARWIN, C. ([1859]1985). *A Origem das Espécies*. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/EDUSP.
- DAWKINS, R. (1979). *O Gene Egoísta*. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/EDUSP.
- DAWKINS, R. (1982). *The Extended Phenotype*. Oxford: Oxford University Press.
- DE DUVE, C. (1991). *Blueprint for a Cell*. Burlington: Neil Patterson Publ./Carolina Biol. Supply Co.
- DOBZHANSKY, T. (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, March:125-129.
- EL-HANI, C. N. (2000). *Níveis da Ciência, Níveis da Realidade*. São Paulo:FE-USP. Tese de Doutorado.
- EL-HANI, C. N. & EMMECHE, C. (2000). On some theoretical-grounds for an organism-centered biology: property emergence, supervenience, and downward causation. *Theory in Biosciences*, 119(3-4):234-275.
- EL-HANI, C. N. & KAWASAKI, C. S. (2000). Contribuições da biologia teórica para o ensino de biologia. I. É possível definir vida?, in: MARANDINO, M.; AMORIM, A. C. R.; KAWASAKI, C. S.; BIZZO, N. & TRIVELATO, S. F. *Coletânea do VII Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia e I Simpósio Latino-Americano da IOSTE (International Organization for Science and Technology Education)*. São Paulo:FE-USP. pp. 27-31.
- EL-HANI, C. N. & LIMA-TAVARES, M. (2001). A Terra é Viva? Hipótese Gaia e Definições de Vida, in: OLIVEIRA, E. C. *Epistemologia, Lógica e Filosofia da Linguagem (Coleção de Ensaio em Filosofia Contemporânea)*. Feira de Santana:NEF-UEFS. pp. 61-94.
- EL-HANI, C. N. & PEREIRA, A. M. (1999a). A survey of explanatory methodologies for science teaching, I. reductionism, antireductionism and emergence, in: LENTZ, L. & WINCHESTER, I. (Eds.). *Toward Scientific Literacy: The History & Philosophy of Science and Science Teaching, Proceedings of the Fourth International Conference - Calgary, Alberta, Canada - June 21-24, 1997*. Calgary: Faculty of Education, University of Calgary. pp. 230-240.

- EL-HANI, C. N. & PEREIRA, A. M. (1999b). Understanding biological causation. In: HARDCASTLE, V. G. (Ed.). *Where Biology Meets Psychology: Philosophical Essays*. Cambridge-MA: MIT Press. pp. 333-356.
- EL-HANI, C. N. & PEREIRA, A. M. (2000). Higher-level descriptions: why should we preserve them?. In: ANDERSEN, P. B.; EMMECHE, C.; FINNEMANN, N. O.; CHRISTIANSEN, P. V. (Eds.) *Downward Causation: Minds, Bodies and Matter*. Aarhus: Aarhus University Press. pp. 118-142.
- EL-HANI, C. N. & PEREIRA, A. M. (2001). Notas sobre percepção e interpretação em ciência. *Revista da USP* 49:148-159.
- EL-HANI, C. N. & VIDEIRA, A. A. P. (2001). Causação descendente, emergência de propriedades e modos causais aristotélicos. *Theoria*, 16(2):301-329.
- EMMECHE, C. (1997). *Defining Life, Explaining Emergence*. On-line paper: <http://www.nbi.dk/~emmeche/> (Publicado também em duas partes como: EMMECHE, C. (1997). Autopoietic systems, replicators, and the search for a meaningful biologic definition of life. *Ultimate Reality and Meaning*, 20(4):244-264; EMMECHE, C. (1998). Defining life as a semiotic phenomenon. *Cybernetics & Human Knowing*, 5(1):3-17).
- EMMECHE, C. & EL-HANI, C. N. (2000). Definindo vida, in: EL-HANI, C. N. & VIDEIRA, A. A. P. (Orgs.). *O Que é Vida? Para Entender a Biologia do Século XXI*. Rio de Janeiro: Relume Dumará. pp. 31-56.
- EMMECHE, C. & HOFFMEYER, J. (1991). From language to nature — the semiotic metaphor in biology. *Semiotica*, 84(1/2):1-42.
- EMMECHE, C.; KÖPPE, S. & STJERNFELT, F. (1997). Explaining emergence: towards an ontology of levels. *Journal for General Philosophy of Science*, 28:83-119.
- EMMECHE, C.; KÖPPE, S.; STJERNFELT, F. (2000). Levels, emergence and three versions of downward causation, in: ANDERSEN, P. B.; EMMECHE, C.; FINNEMANN, N. O.; CHRISTIANSEN, P. V. (Eds.) *Downward Causation: Minds, Bodies and Matter*. Aarhus: Aarhus University Press. pp. 13-34.
- FEYERABEND, P. K. (1975). *Contra o Método*. Rio de Janeiro: Francisco Alves.
- FLEISCHAKER, G. R. (1988). Autopoiesis: The status of its systems logic. *BioSystems*, 22:37-49.
- FLEISCHAKER, G. R. (1990). Origins of life: An operational definition. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 20:127-137.
- FORQUIN, J.-C. (1993). *Escola e Cultura*. Porto Alegre: Artes Médicas.
- FOUCAULT, M. (1987). *As Palavras e as Coisas*. São Paulo: Martins Fontes.
- GOULD, S. J. & LEWONTIN, R. C. (1978). The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: A critique of the adaptationist programme. *Proceedings of the Royal Society of London*, 205:581-598.
- GOULD, S. J. (2002). *The Structure of Evolutionary Theory*. Cambridge-MA: Harvard University Press.
- HAIGH, M. J. (2001). Constructing Gaia: Using journals to foster reflective learning. *Journal of Geography in Higher Education*, 25(2):167-189.

- HAMILTON, W. D. & LENTON, T. M. (1998). Spora and Gaia: How microbes fly with their clouds. *Ethology, Ecology & Evolution*, 10(1):1-16.
- HARRÉ, R. (1985). *The Philosophies of Science: An Introductory Survey (2nd Ed.)*. Oxford: Oxford University Press.
- HITCHCOCK, D. R. & LOVELOCK, J. E. (1967). Life detection by atmospheric analysis. *Icarus*, 7(2):149-159.
- HOFFMEYER, J. (1997). *Signs of Meaning in the Universe*. Bloomington: Indiana University Press.
- HOFSTADTER, D. R. (1980). *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. Harmondsworth: Penguin Books.
- HOYNINGEN-HUENE, P. (1993). *Reconstructing Scientific Revolutions: Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- HULL, D. L. (1981). Units of evolution: A metaphysical essay, in: JENSEN, U. J. & HARRÉ, R. (Eds.). *The Philosophy of Evolution*. New York: St. Martin's Press.
- JOHNSON, P. (1983). Connecting patterns through environmental education. *Educational Leadership* 40(7):40-44.
- KAWASAKI, C. S.; EL-HANI, C. N.(2002a). Uma análise das definições de vida encontradas em livros didáticos de Biologia do ensino médio. *Coletânea do VIII Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia*. São Paulo: FE-USP.
- KAWASAKI, C. S.; EL-HANI, C. N.(2002b). An analysis of life concepts in Brazilian high-school Biology textbooks. *Proceedings of 10th Symposium of the International Organization for Science and Technology Education*. (no prelo).
- KIM, J. (1999) Making sense of emergence. *Philosophical Studies*, 95:3-36.
- KIM, J. (2000) Making sense of downward causation. In: ANDERSEN, P. B.; EMMECHE, C.; FINNEMANN, N. O.; CHRISTIANSEN, P. V. (Eds.) *Downward Causation: Minds, Bodies and Matter*. Aarhus: Aarhus University Press. pp. 305-321.
- KIRCHNER, J. W. (1989). The Gaia hypothesis: Can it be tested? *Reviews of Geophysics*, 27(2):223-235.
- KIRCHNER, J.W. (1993). The Gaia hypotheses: Are they testable? Are they useful?, in: SCHNEIDER, S. H. & BOSTON, P. J. *Scientists on Gaia*. Cambridge-MA: MIT Press. pp. 38-46.
- KUHN, T. S. (1996). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.
- KÜPPERS, B.-O. (1985). *Molecular Theory of Evolution: Outline of a Physico-Chemical Theory of the Origin of Life*. Berlin: Springer.
- LAKATOS, I. (1979). O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica, in: LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*. São Paulo: Cultrix/EDUSP. pp. 109-243.
- LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. (1979). *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*. São Paulo: Cultrix/EDUSP.

- LAMARCK, J. B. ([1809]1984). *Zoological Philosophy*. Chicago: The University of Chicago Press.
- LENTON, T. M. (1998). Gaia and natural selection. *Nature*, 394(6692):439-447.
- LENTON, T. M. & LOVELOCK, J. E. (2000). Daisyworld is Darwinian: Constraints on adaptation are important for planetary self-regulation. *Journal of Theoretical Biology*, 206:109-114.
- LENTON, T. M. & LOVELOCK, J. E. (2001). Daisyworld revisited: Quantifying biological effects on planetary self-regulation. *Tellus Series B – Chemical and Physical Meteorology*, LIII(3):288-305.
- LEVIN, S. A. (1998). Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems. *Ecosystems*, 1:431-436.
- LEVINE, A.; SOBER, E. & WRIGHT, E. O. (1987). Marxism and methodological individualism. *New Left Review* 162:67-84.
- LEWONTIN, R. ([1977]1985). Adaptation, in: LEVINS, R. & LEWONTIN, R. *The Dialectical Biologist*. Cambridge-MA: Harvard University Press. pp. 65-84.
- LEWONTIN, R. ([1983]1985). The organism as the subject and object of evolution, in: LEVINS, R. & LEWONTIN, R. *The Dialectical Biologist*. Cambridge-MA: Harvard University Press. pp. 85-106.
- LEWONTIN, R. (2000). *The Triple Helix: Gene, Organism, and Environment*. Cambridge-MA: Harvard University Press.
- LIMA-TAVARES, M. (2000). *A Terra é Viva? Hipótese Gaia e Definições de Vida*. Salvador: IB-UFBA. Monografia de Bacharelado.
- LOPES, A. R. C. (1997a). Conhecimento escolar: Processos de seleção cultural e de mediação didática. *Educação e Realidade* 22(1):95-112.
- LOPES, A. R. C. (1997b). Conhecimento escolar em Química: Processo de mediação didática da ciência. *Química Nova* 20(5):563-568.
- LOVELOCK, J. E. (1965). A physical basis for life detection experiments. *Nature*, 207(4997):568-570.
- LOVELOCK, J. E. (1972). Gaia as seen through the atmosphere. *Atmospheric Environment*, 6(8):579-580.
- LOVELOCK, J. E. (1986). Gaia: The world as a living organism. *New Scientist*, 112:25-28.
- LOVELOCK, J. E. (1990). Hands up for the Gaia hypothesis. *Nature*, 344:100-102.
- LOVELOCK, J. E. (1991a). Gaia: A planetary emergent phenomenon, in: THOMPSON, W. I. *Gaia 2: Emergence – The New Science of Becoming*. New York: Lindsfarne Press. pp. 30-49.
- LOVELOCK, J. E. (1991b). *Healing Gaia : Practical Medicine for the Planet*. New York: Harmony Books.
- LOVELOCK, J. E. (1993). Geophysiology – The science of Gaia, in: SCHNEIDER, S. H. & BOSTON, P. J. *Scientists on Gaia*. Cambridge-MA: MIT Press. pp. 3-10.
- LOVELOCK, J. E. (1995a). *Gaia: A New Look at Life on Earth (3th Ed.)*. Oxford: Oxford University Press.

- LOVELOCK, J. E. (1995b). *The Ages of Gaia: A Biography of our Living Earth*. Oxford: Oxford University Press.
- LOVELOCK, J. E. (1997). A Terra como um organismo vivo, in: WILSON, E. O. (Org.). *Biodiversidade*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. pp. 619-623.
- LOVELOCK, J. E. & MARGULIS, L. (1974a). Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis. *Tellus*, XXVI(1-2):2-10.
- LOVELOCK, J. E. & MARGULIS, L. (1974b). Homeostatic tendencies of the Earth's atmosphere. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 5(1-2):93-103.
- LOVELOCK, J. E. & WATSON, A. J. (1982). The regulation of carbon dioxide and climate: Gaia or geochemistry? *Planet and Space Science*, 30(8):795-802.
- LOVELOCK, J. E.; MAGGS, R. J. & RASMUSSEN, R. A. (1972). Atmospheric dimethyl sulfide and natural sulfur cycle. *Nature*, 237(5356):452-453.
- MARGULIS, L. & LOVELOCK, J.E. (1974). Biological modulation of the earth's atmosphere. *Icarus*, 21:471-489.
- MARGULIS, L. & SAGAN, D. (1986). *Microcosmos*. New York: Summit.
- MARCZWSKI, M. & VÉLEZ, E. (1999). *Ciências Biológicas*. São Paulo: FTD.
- MATURANA, H. R. (1997). *A Ontologia da Realidade* (Orgs: MAGRO, C.; GRACIANO, M. & VAZ, N.). Belo Horizonte: Editora UFMG.
- MATURANA, H. R. & VARELA, F. (1980). *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living* (*Boston Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 42). Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- MAYNARD SMITH, J. (1986). *Los Problemas de la Biología*. Madrid: Catedra.
- MAYR, R. (1976). *Evolution and the Diversity of Life*. Cambridge-MA: Harvard University Press.
- MAYR, E. (1982). *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Cambridge-MA: Harvard University Press.
- MAYR, E. (1988). *Toward a New Philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist*. Cambridge-MA: Harvard University Press.
- MCGUIRE, T. (1993). The Gaia nineties. Is it time to re-evaluate this controversial theory? *Science Teacher*, 60(6):30-35.
- MERRELL, F. (1996). *Signs Grow: Semiosis and Life Processes*. Toronto: University of Toronto Press.
- MEYER, D. & EL-HANI, C. N. 2000. Evolução, in: EL-HANI, C. N. & VIDEIRA, A. A. P. (Orgs.). *O Que é Vida? Para Entender a Biologia do Século XXI*. Rio de Janeiro: Relume Dumará. pp. 153-185.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO ESPORTO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL. (1998). *Parâmetros Curriculares Nacionais: Terceiro e Quarto Ciclos: Apresentação dos Temas Transversais*. Brasília: MEC/SEF.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO ESPORTO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL. (1999). *Parâmetros Curriculares Nacionais: Primeiro e Segundo Ciclos: Apresentação dos Temas Transversais*. Brasília: MEC/SEF.

- O'CONNOR, T. (1994). Emergent properties. *American Philosophical Quarterly*, 31(2):91-104.
- ORTONY, A. (Ed.). (1993). *Metaphor and Thought* (2nd Ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- PEREIRA, A. M. (1997). A cognição em nova chave, in: DIAS, A. L. M.; EL-HANI, C. N.; SANTANA, J. C. B. & FREIRE JR., O. (Orgs.). *Perspectivas em Epistemologia e História das Ciências*. pp. 55-65.
- PIHLSTRÖM, S. (1999). What shall we do with emergence? A survey of a fundamental issue in the metaphysics and epistemology of science. *South African Journal of Philosophy*, 18:192-210.
- POSTGATE, J. (1988). Gaia gets too big for her boots. *New Scientist*, 118(1607):60.
- RIZZOTTI, M. (Ed.). (1996). *Defining Life: The Central Problem in Theoretical Biology*. Padova: University of Padova.
- ROBERTSON, D. & ROBINSON, J. (1998). Darwinian Daisyworld. *Journal of Theoretical Biology*, 195:129-134.
- ROCHA, P. L. B. & EL-HANI, C. N. (1996). The description of the evolutionary process as a metaphor of phylogenetic systematics. *Journal of Comparative Biology* 1(1/2):17-28.
- SAUNDERS, P. T. (1994). Evolution without natural selection: Further implications of the Daisyworld parable. *Journal of Theoretical Biology*, 166:365-373.
- SCHNEIDER, S. H. & BOSTON, P. J. (1993). *Scientists on Gaia*. Cambridge-MA:MIT Press.
- SCHNEIDER, S. H. & BOSTON, P. J. (1993). Preface, in: *Scientists on Gaia*. Cambridge-MA:MIT Press. pp. XXIII-XV.
- SIMBERLOFF, D. (1980). A succession of paradigms in ecology: Essentialism to materialism and probabilism. *Synthese*, 43:3-39.
- SPOWERS, R. (2000). Living planet (Interview with James Lovelock). *Geographical*, August 2000:25-27.
- SOBER, E. (1980). Evolution, population thinking and essentialism. *Philosophy of Science*, 47:350-383.
- STEPHAN, A. (1998). Varieties of emergence in artificial and natural systems. *Zeitschrift für Naturforschung*, 53c:639-656.
- STERELNY, K. (2001). *Dawkins vs. Gould: Survival of the Fittest*. Cambridge: Icon Books.
- STÖCKER, S. (1995). Regarding mutations in Daisyworld models. *Journal of Theoretical Biology*, 175:495-501.
- VARELA, F. J. (1979). *Principles of Biological Autonomy*. New York: Elsevier North-Holland.
- WALKER, J.C.G.; HAYS, P.B. & KASTING, J.F. (1981). A negative feedback mechanism for the long-term stabilization of earth's surface-temperature. *Journal of Geophysical Research – Oceans and Atmospheres*, 86:9776-9782.

- WATSON, A. J. & LOVELOCK, J.E. (1983). Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld. *Tellus, Series B – Chemical and Physical Meteorology*, XXXV(4):284-289.
- WATSON, J. (1986). A biologia: Uma perspectiva necessariamente limitada, in: ROSE, S. & APPIGNANESI, L. (Eds.). *Para uma Nova Ciência*. Lisboa: Gradiva. pp. 31-38.
- WILKINSON, D. M. (1999a). Is Gaia really conventional ecology? *Oikos*, 84:533-536.
- WILKINSON, D. M. (1999b). Gaia and natural selection. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(7):256-257.

Recebido em 26.11.2001

Revisado em 20.04.2002

Aceito em 06.05.2001