

A Teoria Gaia é um conteúdo legítimo no ensino médio de Ciências?

Maria Daniela Martins Guimarães^{a,*}, Marina de Lima-Tavares^{a,b},
Nei de Freitas Nunes-Neto^{a,c}, Ricardo Santos do Carmo^a &
Charbel Niño El-Hani^{a,c,d}

resumo: A teoria Gaia propõe que biosfera, atmosfera, hidrosfera e litosfera são conectadas por alças de retroalimentação num sistema cibernético que mantém o ambiente físico-químico da Terra habitável para os seres vivos. Essa teoria deve ser incluída no conhecimento científico escolar? Neste artigo, analisamos se a inclusão da teoria Gaia no ensino de ciências possui legitimidade social e epistemológica, a partir de uma discussão sobre a construção do conhecimento escolar, da análise de propostas de introdução de Gaia na educação formal e não formal e da análise da cientificidade dessa teoria à luz da metodologia dos programas de pesquisa científica, proposta pelo filósofo da ciência Imre Lakatos. A partir de tais análises, concluímos que a inclusão da teoria Gaia no ensino de ciências é legitimada epistemológica e socialmente, podendo contribuir para a abordagem interdisciplinar de conteúdos geralmente trabalhados no ensino de ecologia, para o tratamento de temas ambientais que conectam diferentes disciplinas e para a compreensão da natureza da ciência.

palavras-chave: Gaia; Ensino de ciências; Meio ambiente; Interdisciplinaridade; Transposição didática.

abstract: Gaia theory claims that the biosphere, atmosphere, hydrosphere, and lithosphere are connected by feedback loops in a cybernetic system that maintains Earth's physicochemical environment habitable for living beings. Should this theory be introduced into scientific school knowledge? In this paper, we analyze whether the inclusion of Gaia theory in science education is endowed or not with social and epistemological legitimacy, from the perspective of a discussion about the construction of school knowledge, an analysis of proposals for introducing Gaia in formal and non-formal education, and an analysis of its scientific status under the light of the methodology of scientific research programs, proposed by the philosopher of science Imre Lakatos. Based on these analyses, we conclude that Gaia theory can be included in science education with epistemological and social

^a Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas, Instituto de Biologia/UFBA.

* Contato: madany@click21.com.br

^b Programa de Pós-Graduação em Educação/UFMG.

^c Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências/UFBA-UEFS.

^d Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento/UFBA.

legitimacy, and can contribute to an interdisciplinary approach to contents generally addressed in ecology teaching, to the treatment of environmental themes that connect different disciplines, and to the understanding of the nature of science.

keywords: Gaia, Science education; Environment; Interdisciplinarity; Didactic transposition.

1. Introdução

A construção do conhecimento escolar de ciências é mais complexa do que poderia parecer à primeira vista, envolvendo um intrincado processo de transposição didática, que congrega vários atores diferentes, com diferentes visões, interesses, valores, práticas etc. Vários modelos foram propostos para tratar da construção do conhecimento escolar e de suas relações com o conhecimento acadêmico de referência, como, por exemplo, os modelos de transposição didática de Chevallard (1991), Develay (1992) e Clément (2006). A análise desses modelos indica que, para a inclusão de conteúdos no conhecimento científico escolar, uma dupla legitimação é necessária: uma de ordem social e outra de ordem epistemológica.

Em trabalhos anteriores, discutimos as contribuições que a teoria Gaia pode trazer para o ensino de ciências, quanto à integração de conteúdos de diferentes áreas na abordagem de diversos assuntos e, em particular, de temas relevantes face à presente crise ambiental, bem como no que diz respeito à compreensão da natureza da ciência (LIMA-TAVARES; EL-HANI, 2001; CARMO et al., 2007; GUIMARÃES, 2007). O presente artigo constitui mais um passo em nossas investigações sobre a inclusão da teoria Gaia no ensino de ciências, em particular, no nível médio de escolaridade, que, para uma grande parte das pessoas, representa a última experiência de educação formal na área das ciências naturais. A questão de pesquisa sobre a qual nos debruçamos neste artigo é a seguinte: há legitimidade social e epistemológica para a incorporação da teoria Gaia no conhecimento escolar de ciências? A relevância dessa questão se torna mais evidente quando consideramos que essa teoria já se encontra presente em livros didáticos de Biologia, como os resultados obtidos por Carmo et al. (2007) mostram.

Para responder à nossa questão de pesquisa, apresentaremos inicialmente as idéias centrais da teoria Gaia. Em seguida, discutiremos a construção do conhecimento escolar de ciências, destacando os requisitos de legitimação social e epistemológica dos conteúdos a serem incluídos no mesmo. O próximo passo será uma discussão da cientificidade da teoria Gaia e de suas implicações para a legitimidade epistemológica dessa teoria como conteúdo do ensino de ciências. Analisaremos, então, propostas de inclusão da teoria Gaia na educação formal e não formal, em busca de indícios para avaliarmos sua legitimidade social como conteúdo do ensino de ciências. Por fim, apresentaremos nossas conclusões sobre a questão norteadora deste artigo.

2. A teoria Gaia

A teoria Gaia foi desenvolvida pelo cientista inglês James Lovelock em colaboração com uma série de pesquisadores¹. Ela postula, basicamente, que o planeta Terra foi e continua a ser ativamente transformado pela presença de seres vivos, de modo a manter condições adequadas à própria vida (LOVELOCK, 1995). O desenvolvimento das idéias centrais dessa teoria teve início na década de 1960, quando Lovelock

¹ Na literatura, Gaia tem sido tratada tanto como uma ‘hipótese’ quanto como uma ‘teoria’. O próprio Lovelock usa os termos ‘hipótese’ e ‘teoria’ para referir-se a Gaia em seus trabalhos. Contudo, nós utilizamos sistematicamente a expressão ‘teoria Gaia’, com base no entendimento de que uma teoria é um conjunto de proposições sobre o mundo empírico relacionadas de maneira sistemática, que cumpre o papel de explicar e prever fenômenos ou padrões observados na natureza, freqüentemente mediante a elucidação de processos ou mecanismos responsáveis pela sua produção ou causação (LIMA-TAVARES; EL-HANI, 2001; NUNES-NETO; EL-HANI, 2006; CARMO et al., 2007). Uma hipótese, por sua vez, é por nós entendida como uma explicação tentativa para um fenômeno ou padrão específico, que deve ser submetida a teste com base em previsões derivadas dela num cenário específico de teste empírico. Gaia parece qualificar-se, então, como uma teoria, e não apenas como uma hipótese, na medida em que apresenta em sua estrutura uma série de proposições relacionadas entre si, que buscam explicar características do sistema terrestre e suas relações com o sistema cibernético postulado pela própria teoria. Por isso, restringimos o uso da expressão ‘hipótese Gaia’ a citações de outros autores. Mais à frente, ao discutirmos a teoria da ciência de Lakatos, passaremos a usar sistematicamente ‘programa de pesquisa Gaia’, por entender que foram desenvolvidas diferentes versões teóricas de Gaia ao longo de sua história, estruturadas em torno de um núcleo comum de idéias centrais.

foi convidado pela NASA (Administração Nacional de Aeronáutica Espacial dos Estados Unidos da América) para integrar, como consultor, uma equipe de pesquisa que criaria instrumentos para a detecção de vida em Marte e Vênus. Com base em uma apreciação crítica dos instrumentos anteriormente planejados para esse fim, que pressupunha uma semelhança com a vida na Terra para orientar a busca de seres vivos em outros planetas, Lovelock e a filósofa Dian Hitchcock concluíram que a melhor forma de se detectar vida em outros planetas seria através da análise de suas atmosferas, comparando-as à da Terra, que se encontra em estado de constante desequilíbrio químico entre seus gases componentes. Lovelock e Hitchcock estavam convencidos de que a única explicação para essa característica tão improvável residia no fato de que a atmosfera terrestre é continuamente modificada pelos seres vivos, já que eles utilizam, obrigatoriamente, a atmosfera como fonte de recursos, depósito para seus metabólitos e meio para o transporte de matérias-primas do seu metabolismo (LOVELOCK, 1991, 1995). Pelo que se sabia na época, as atmosferas de Marte e Vênus seriam compostas predominantemente por dióxido de carbono (CO_2), em concentrações superiores a 95%, pouco oxigênio (O_2) e nitrogênio (N_2) e nenhum metano (CH_4).² Essa é uma condição não muito distante do estado de equilíbrio químico e bem próxima daquela que seria esperada num planeta Terra sem vida. Contudo, a atmosfera terrestre é constituída por 79% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 0,03% de dióxido de carbono, além de outros gases em proporções ínfimas, existindo conjuntamente na atmosfera gases altamente reativos, como o oxigênio e o metano, e gases de fácil decomposição, como o óxido nítrico (NO), com suas concentrações sendo mantidas há um longo período de tempo (LOVELOCK, 1991). Mas como essas condições improváveis vêm sendo mantidas há tanto tempo? Uma explicação plausível para a manutenção de uma condição tão instável na atmosfera terrestre por períodos de tempo tão longos reside na influência da própria vida sobre o planeta.

² Hoje sabemos que há quantidades pequenas, mas constantes, de metano na atmosfera de Marte, o que tem levantado, inclusive, uma discussão sobre sua origem geoquímica ou biológica, apontando para a possibilidade, atualmente em investigação, de que Marte abrigue vida bacteriana (ATREYA et al., 2007).

A estabilidade da temperatura do planeta Terra também chamou a atenção de Lovelock, na medida em que, enquanto estudos astronômicos mostram que a luminosidade do sol sofreu um aumento de 25% desde o surgimento da vida, a temperatura da Terra não sofreu alteração significativa pelo menos nos últimos 3,3 bilhões de anos (idem). Mesmo nos períodos glaciais, a temperatura média das regiões tropicais não chegou a ser mais do que 8°C menor do que a observada durante os períodos interglaciais.

Lovelock começou a considerar, então, que os seres vivos poderiam possuir a capacidade de alterar as condições físico-químicas do ambiente planetário de modo a mantê-las dentro dos limites de habitabilidade. Isso seria feito por meio de alças de retroalimentação negativa e positiva que operariam em nível global e seriam responsáveis pela manutenção das condições físico-químicas em estado relativamente constante (*steady state*). Essas idéias levaram à teoria Gaia, que propõe que a biosfera, a atmosfera, a hidrosfera e a litosfera, ligadas por alças de retroalimentação, atuam como um sistema de controle adaptativo, um sistema cibernético que mantém o ambiente físico-químico da Terra em homeostase (LOVELOCK, 1995).

O termo ‘Gaia’ foi sugerido pelo escritor William Golding em 1972, com base na deusa que personificava a mãe Terra na antiga mitologia grega, tendo sido aceito por Lovelock como denominação para sua teoria (LOVELOCK, 1995, 2000). A escolha de tal denominação cumpriu, contudo, um papel relevante na resistência da comunidade científica às idéias de Lovelock. Esse termo designa tanto a teoria quanto o sistema físico que ela procura descrever. Tal sistema é descrito por Lenton e van Oijen (2002, p. 684) como segue:

[...] um sistema termodinamicamente aberto na superfície da Terra incluindo a vida (a biota), a atmosfera, a hidrosfera (oceano, gelo, água doce), matéria orgânica morta, solos, sedimentos e aquela parte da litosfera [...] que interage com os processos de superfície (incluindo rochas sedimentares e rochas sujeitas a intemperismo).

A teoria Gaia pode ser entendida, então, como uma teoria sobre o funcionamento do sistema Terra com vida abundante. Trata-se de um sistema cibernético no qual o acoplamento dos organismos e de seu

ambiente é tão forte que influenciou substancialmente a evolução das condições físico-químicas do planeta. Nessa perspectiva, a evolução biológica e a evolução do ambiente físico-químico não são dois processos independentes, mas, antes, duas facetas do mesmo processo. O sistema Gaia mantém, de acordo com a teoria, uma série de variáveis ambientais constantes numa escala global (por exemplo, temperatura, composição química atmosférica, pH e salinidade dos oceanos etc.), ou seja, uma homeostase planetária que conservaria as condições do planeta Terra adequadas para a vida. A regulação de tais variáveis ambientais é entendida como uma propriedade emergente do sistema Gaia (e.g., LOVELOCK, 1990; LENTON, 2004), resultante das interações complexas de organismos e subsistemas físico-químicos num conjunto de alças de retroalimentação positiva e negativa.

A idéia de um sistema cibernético envolvendo a biota e o ambiente físico-químico em coevolução é, em nossa visão, a tese mais central da teoria Gaia, em vez de algumas afirmações do próprio Lovelock, como a de que a Terra seria um sistema vivo, que tem geralmente merecido mais atenção de livros didáticos, bem como da mídia e de textos de divulgação científica (LIMA-TAVARES; EL-HANI, 2001; CARMO et al., 2007). Pode soar estranho, em princípio, a proposição de que uma idéia defendida em muitos escritos e com considerável veemência pelo próprio proponente de Gaia não seja de fato central na estrutura da teoria. Contudo, uma análise feita de uma perspectiva externa à teoria e munida de referenciais teóricos e metodológicos da filosofia da ciência pode balizar uma conclusão dessa natureza (para maiores detalhes, ver LIMA-TAVARES; EL-HANI, 2001; LIMA-TAVARES, 2002; NUNES-NETO, 2005; NUNES-NETO; EL-HANI, 2006). Primeiro, Lovelock tem oscilado em sua convicção de que a Terra é viva ao longo da história da teoria Gaia, por vezes afirmando que ela é apenas ‘quase viva’ (LOVELOCK, 1985, 1986, 2006a). Essa oscilação sugere que a idéia não é tão central quanto parece ser à primeira vista. A proposição de que há na Terra um sistema cibernético envolvendo a biota e o ambiente físico-químico não foi, por sua vez, modificada ao longo da história da teoria Gaia. Em segundo lugar, muitos pesquisadores que aderem hoje ao programa de pesquisa Gaia raramente empregam a idéia de que a Terra é viva, se é que o fazem (e.g.,

VOLK, 1998; KLEIDON, 2002; LENTON; VAN OIJEN, 2002), e alguns chegam mesmo a criticá-la abertamente (MARGULIS, 1997; WILKINSON, 1999). Essa também não é uma atitude esperada frente a uma proposição que seja central num programa de pesquisa na qual um cientista trabalha. Finalmente, não é a proposição de que a Terra é um superorganismo, mas o modelo de um sistema cibernético constituído por mecanismos de retroalimentação acoplando processos e sistemas vivos e não vivos que leva a previsões testáveis derivadas de Gaia, que constituem, por sua vez, o conteúdo empírico excedente da teoria, fundamental para o estabelecimento de sua cientificidade (ver abaixo). Isso também indica que é a esta última idéia, e não à tese de uma Terra viva, que se deve atribuir papel central na teoria Gaia. Além disso, é difícil compatibilizar a idéia de que a Terra é viva com a maioria das definições de vida disponíveis, mas, nesse caso, o problema é menos grave, visto que há saídas possíveis (ainda que passíveis de controvérsia), como tentativas de utilizar para esse fim a definição termodinâmica (LOVELOCK, 1965, 2006a) ou a definição autopoietica de vida (CAPRA, 1996).

Em seus estágios iniciais de desenvolvimento, a teoria Gaia foi duramente criticada pela comunidade científica. Com freqüência, seu estatuto como teoria científica foi colocado em questão (POSTGATE, 1988; KIRCHNER, 1989, 1993). Ao mesmo tempo, idéias relacionadas a Gaia – nem todas realmente defendidas por Lovelock – foram recebidas com entusiasmo por grupos ambientalistas e espiritualistas, tornando-se uma parte integral da chamada ‘filosofia da nova era’ (e.g., BADINER, 1990; NICHOLSON; ROSEN, 1997; SAHTOURIS, 2000). Em particular, aqueles grupos foram atraídos pelas afirmações mais controversas de Lovelock, como a de que a Terra é um ser vivo, dando menos atenção a idéias que consideramos o núcleo central da teoria Gaia. À medida que essa teoria era mais e mais aceita por tais grupos, a comunidade científica tinha cada vez mais suspeitas a seu respeito.

Contudo, desde a década de 1980, a teoria Gaia tem sido cada vez mais aceita como uma teoria científica, ainda que controversa. Atualmente, há muitos pesquisadores que se dedicam ao desenvolvimento e teste da teoria, contribuindo para sua respeitabilidade científica, sobretudo no que diz respeito às suas implicações potenciais para a compreensão das

mudanças climáticas globais (ver, por exemplo, SCHNEIDER et al., 2004). Há uma série de evidências empíricas que fornecem apoio à teoria Gaia e que certamente tiveram um papel nas mudanças de visão da comunidade científica sobre a teoria (ver, por exemplo, LOVELOCK; LODGE, 1972; CHARLSON et al., 1987; LOVELOCK, 1995). Além disso, a construção de modelos cada vez mais sofisticados sobre os mecanismos em operação no sistema Gaia (os chamados modelos ‘geofisiológicos’, tipicamente implementados como simulações computacionais) também tem contribuído substancialmente para o reconhecimento crescente da teoria, desde que Watson e Lovelock (1983) desenvolveram seu modelo do ‘mundo das margaridas’ (ver também LENTON; LOVELOCK, 2000).

Diante dessa história conturbada, a relevância de perguntarmos se Gaia deve ou não estar presente no conhecimento escolar de ciências se torna ainda mais clara. É preciso considerar, contudo, como o conhecimento escolar é construído.

3. A construção do conhecimento escolar

Para tratar da construção do conhecimento escolar, enfocaremos o conceito de transposição didática, criado por Michel Verret em 1975 e difundido por Chevallard (1991), inicialmente na área de educação matemática, mas com repercussão na didática de outras áreas de ensino (DELIZOICOV et al., 2002).³

Chevallard (1991) entende a transposição didática como a passagem do ‘saber sábio’ ao ‘saber ensinado’, ou seja, do conhecimento acadêmico de referência ao conhecimento ensinado na escola.⁴ O modelo de transposição didática enfatiza que, para que o ensino de um determinado elemento do conhecimento seja possível, é preciso que este

³ Neste artigo, restringiremos nossa discussão, por razões de espaço, a modelos de transposição didática. Críticas a esses modelos e propostas alternativas, como encontramos em Lopes (1997) e Marandino (2004), serão discutidas em trabalhos futuros.

⁴ No presente trabalho, optamos por não usar as expressões ‘saber sábio’ e ‘saber ensinado’, a não ser quando fazemos referência direta à obra de Chevallard ou outros autores que as utilizam. Em seu lugar, utilizaremos as expressões ‘conhecimento científico de referência’ e ‘conhecimento escolar’. A razão para essa decisão reside numa discordância em relação às conotações de valor presentes em expressões como ‘saber sábio’.

sofra certas transformações que tornem viável ensiná-lo no contexto escolar, dependendo dessas transformações do nível de escolaridade ao qual se dirija o conhecimento a ser ensinado.

O autor ressalta que, apesar das transformações ocorridas no processo de transposição didática, o conhecimento escolar deve ser suficientemente próximo do conhecimento de referência, para que não seja desautorizado pelos cientistas envolvidos na produção deste último, o que minaria a legitimidade do projeto social de seu ensino. Sobre essa questão, Chevallard aponta, por um lado, a importância do princípio da vigilância epistemológica, que deve ser exercida pelos atores da transposição, de modo a garantir que o conhecimento escolar não se distancie demasiadamente do conhecimento de referência. Por outro lado, também é colocada a questão de que, se o conhecimento escolar permanecer próximo demais do conhecimento de referência, ele não será ensinável, em vista das dificuldades de ensinar, bem como de aprender, o conhecimento acadêmico pouco transformado. Está sempre em andamento, assim, um conflito entre os atores da transposição didática, na medida em que a comunidade científica se esforça, de várias formas, para diminuir a distância entre os conhecimentos escolar e de referência, enquanto autores e editores de livros didáticos, assim como professores, tendem a aumentar tal distância, para que se torne mais exequível o ensino e mais provável a aprendizagem do conteúdo em questão.

Ainda segundo Chevallard (1991), o conceito de ‘saber’ se relaciona ao corpo de conhecimentos que é legitimado epistemologicamente e essa legitimação geralmente se sobrepõe à legitimação cultural. Ele afirma, ainda, que a origem dos saberes pode se dar nas práticas sociais, mas nem todo saber chega a ser legitimado, a ponto de tornar-se um conhecimento científico de referência. Contudo, o papel das práticas sociais na transposição didática foi repensado por outros autores, que, inspirando-se no trabalho de Chevallard, buscaram modificar o modelo de transposição didática por ele proposto, a exemplo de Develay (1992) e Clément (2006). Esses autores dão mais atenção aos aspectos históricos das ciências, bem como à promoção de uma maior relação entre epistemologia e didática. Astolfi e Develay (1991) afirmam que o conhecimento científico de referência sofre uma mudança em seu estatuto

epistemológico ao ser transposto didaticamente, o que leva a escola a nunca ensinar conhecimentos em estado ‘puro’, mas sim conteúdos de ensino, que são resultantes de cruzamentos complexos entre uma lógica conceitual, um projeto de formação e exigências didáticas. Eles destacam, ainda, as influências políticas e sociais, considerando os aportes provenientes das práticas sociais, que, além do ‘saber sábio’, constituem referências importantes para a transposição didática.

Clément (2006), por sua vez, propôs um modelo de transposição didática, inspirado pelo modelo original de Chevallard, mas com modificações importantes. Ele pretende, em particular, superar a crítica de que o modelo de Chevallard não tem na devida conta as práticas sociais como marcos de referência para o conhecimento escolar. Clément busca considerar tanto a dimensão social quanto a dimensão axiológica em seu modelo, com base na idéia de que o conhecimento científico, os sistemas de valores e as práticas sociais interagem entre si, constituindo as concepções que os sujeitos têm sobre determinados assuntos. Em vista disso, ele denomina seu modelo KVP (K, do inglês *knowledge* - conhecimento; V, do inglês *values* - valores; e P, do inglês *practices* - práticas). Este modelo é representado por um triângulo – graças à influência do ‘triângulo didático’, freqüentemente empregado na Didática das Ciências francesa (ver Clément, 2006) –, em cujos vértices são encontrados os pólos que interagem na constituição das concepções, enquanto as concepções, como resultado desta interação, aparecem no centro do triângulo (**Figura 1** – a seguir).

O modelo KVP foi construído a partir da análise das concepções de estudantes, pesquisadores, professores e outros atores do sistema educacional, sendo essas sistematicamente tratadas como interações de conhecimentos, valores e práticas. Esse modelo propõe que todo sujeito humano constrói concepções que são determinadas não somente pelo conhecimento, mas também por suas práticas sociais e seus valores. Além disso, para Clément, a maior parte das práticas – sejam práticas profissionais de cientistas e professores, práticas de estudantes ou práticas futuras e atuais de cidadania de todos os atores do sistema educacional – resulta também de interações com valores e conhecimentos.

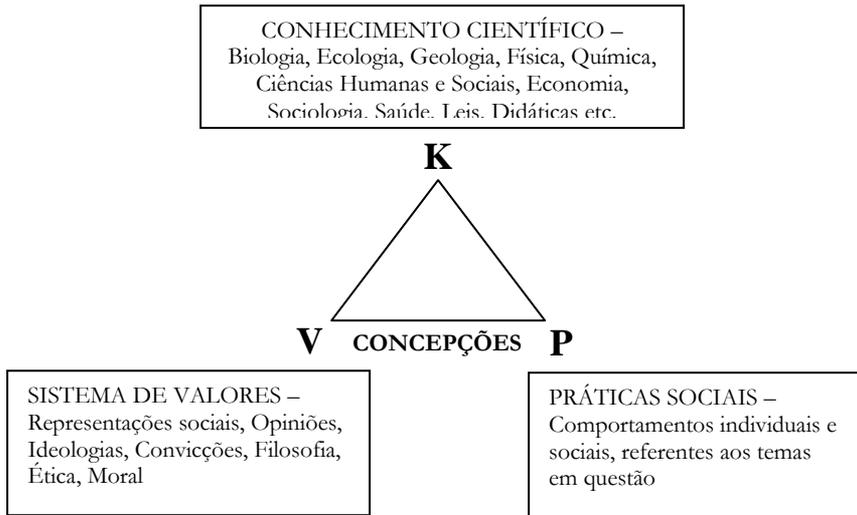


Figura 1: O modelo KVP (adaptado de CLÉMENT, 2006. Ver tb. CARAVITA et al., 2007).

No modelo de transposição didática de Chevallard (1991), o processo de construção do conhecimento escolar envolve apenas três etapas, iniciando-se no conhecimento acadêmico de referência (nos termos de Chevallard, ‘saber sábio’), que é então transformado no conhecimento a ser ensinado (no nível dos currículos, das ementas, dos programas escolares), que, finalmente, é transformado no conhecimento escolar (para Chevallard, ‘saber ensinado’). No modelo KVP, contudo, a transposição didática não se dá somente em três etapas. Afinal, não são tipicamente as publicações científicas originais que informam a construção dos currículos, das ementas, dos programas das disciplinas escolares, mas, antes, outros níveis de transposição didática, relativos, por exemplo, à produção de artigos de revisão, trabalhos de divulgação científica, livros didáticos, iniciativas de popularização da ciência pela mídia, exposições de museus voltadas para temas científicos etc. (ver **Figura 2**). Nesses termos, o modelo de Clément contribui para uma compreensão mais aprofundada da complexa dinâmica subjacente à construção do conhecimento escolar, em seus vários níveis, desde os currículos até o discurso dos professores em sala de aula, até as concepções construídas pelos estudantes.

TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

CONCEPÇÕES de

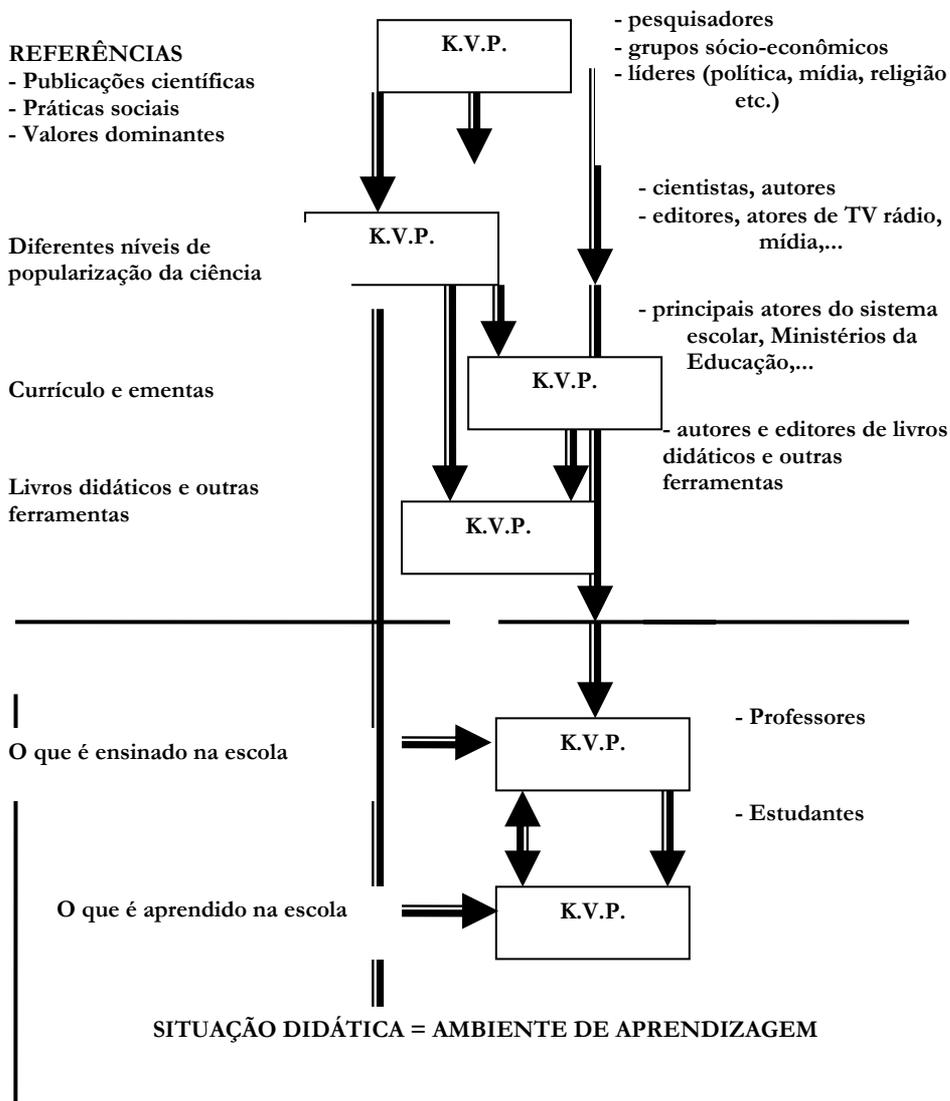


Figura 2 – A dinâmica complexa da construção do conhecimento escolar, segundo o modelo KVP de transposição didática (CLÉMENT, 2006).

No contexto de nossas investigações, utilizamos o modelo KVP de Clément para a compreensão da construção do conhecimento escolar. À luz desse modelo (bem como de outras contribuições, como a de Develay), buscamos considerar de modo balanceado tanto a legitimação epistemológica quanto a legitimação social, julgando que ambas são fundamentais na constituição do conhecimento escolar. Não se trata, assim, de sobrepor um modo de legitimação ao outro, mas de pensar na perspectiva de uma *dupla legitimação*. É nesses termos, então, que, para propor que Gaia seja incluída no conhecimento escolar, é preciso, primeiro, discutir a legitimidade epistemológica e social de tal projeto. As duas próximas seções se dedicam a essa discussão.

4. Há legitimação epistemológica para a inclusão de Gaia no conhecimento escolar?

Neste artigo, discutimos a legitimação epistemológica de Gaia como conteúdo do ensino de ciências com base no pressuposto de que, para gozar de tal legitimidade, ela deve ser aceita como científica. A análise da cientificidade de Gaia é, pois, parte importante do exercício da vigilância epistemológica (CHEVALLARD, 1991), no que tange à sua inclusão no ensino de ciências.

Para tratar da cientificidade de Gaia, tomamos como base uma teoria da ciência específica – a metodologia dos programas de pesquisa, desenvolvida pelo filósofo da ciência Imre Lakatos. De acordo com Lakatos, um programa de pesquisa científica se caracteriza por apresentar uma série ou sucessão de modelos ou teorias, que trazem em si elementos que se ligam através de uma notável continuidade, em uma estrutura organizada (LAKATOS, 1980). Ele descreve dois componentes dos programas de pesquisa científica, o ‘núcleo duro’ (ou ‘núcleo irreduzível’) e o ‘cinturão protetor’. O núcleo duro ou irreduzível de um programa constitui a base a partir da qual ele deve desenvolver-se, consistindo de uma ou várias hipóteses teóricas. O núcleo irreduzível da astronomia copernicana, por exemplo, consiste nas suposições de que a Terra e os outros planetas orbitam um Sol estacionário e a Terra gira em torno de seu

eixo uma vez por dia. O núcleo duro da física newtoniana, por sua vez, inclui as leis do movimento e a lei da atração gravitacional de Newton.

O núcleo irredutível deve ser, como o nome sugere, irrefutável, por decisão metodológica dos pesquisadores que trabalham no programa. É o cinturão protetor que permite salvar o núcleo irredutível de falsificações, através de hipóteses auxiliares que suplementam aquele núcleo. Essas hipóteses auxiliares devem ser testáveis independentemente e, no caso de não serem confirmadas, podem ser alteradas ou até mesmo completamente rejeitadas, sem que o programa de pesquisa deva ser, por isso, abandonado. O cinturão protetor pode ser, dessa forma, ajustado várias vezes ou até mesmo completamente substituído, caso necessário. Esses ajustes do cinturão protetor ajudam a evitar a falsificação do núcleo duro do programa.

As regras metodológicas dos programas de pesquisa orientam a investigação em termos tanto de uma heurística ‘negativa’ quanto de uma heurística ‘positiva’: a heurística negativa indica caminhos que devem ser evitados pela pesquisa, consistindo na decisão metodológica de não falsificar as proposições do núcleo duro de um programa, sob pena de este tornar-se um outro programa de pesquisa. É importante destacar que não se trata de que um cientista não possa jamais se decidir por falsificar o núcleo irredutível de um programa; significa apenas que, caso o faça, terá optado por abandonar aquele programa. A heurística positiva, por sua vez, mostra caminhos que podem ser seguidos para melhorar a articulação do programa, incluindo a elaboração de mecanismos para proteger seu núcleo duro, mediante a alteração e o desenvolvimento das proposições auxiliares que formam o cinturão protetor.

Com base no pressuposto de que a ciência deve sempre avançar, o critério de cientificidade de Lakatos se ampara no progresso dos programas de pesquisa científica. Os programas podem ser progressivos ou degenerescentes. Um programa é tido como progressivo caso apresente conteúdo empírico excedente, ou seja, ofereça previsões de fatos novos – neste caso, ele é teoricamente progressivo –, e/ou caso parte de seu conteúdo empírico adicional seja, ao menos ocasionalmente, apoiado por evidências empíricas – neste caso, ele apresenta progresso empírico. Já um programa em que não se observa progresso nem teórico nem empírico é

considerado degenerescente, devendo, segundo Lakatos, ser rejeitado pela comunidade científica, embora existam graves problemas quanto à avaliação do tempo de degenerescência necessário para que tal decisão seja tomada (FEYERABEND, 1979; ver tb. CHALMERS, 1993).

Portanto, para avaliar se Gaia é científica à luz da teoria de Lakatos, é preciso verificar se ela apresentou, ao longo de sua história, progresso teórico e/ou empírico. Mas, para levar a cabo essa tarefa, é preciso, primeiro, caracterizar Gaia como um programa de pesquisa, em particular, delimitando seu núcleo duro.

Lima-Tavares (2002) concluiu, em sua análise da cientificidade de Gaia, que a história desse programa de pesquisa pode ser reconstruída de uma maneira tal que o mesmo núcleo duro de proposições é encontrado em suas diferentes versões. Isso permite, de uma perspectiva lakatosiana, individuar um mesmo programa de pesquisa ao longo da história de Gaia. Em vista disso, falaremos a partir desse ponto no 'programa de pesquisa Gaia'. O núcleo duro desse programa é constituído, de acordo com a reconstrução de Lima-Tavares, pelas seguintes proposições: i) Há na Terra um sistema cibernético (o sistema 'Gaia'), composto pela biosfera, atmosfera, hidrosfera e litosfera, ligadas por alças de retroalimentação; tal sistema exerce a função de controle adaptativo; ii) o sistema Gaia mantém a homeostase planetária, conservando as condições físico-químicas do planeta relativamente constantes; iii) o sistema Gaia visa à otimização do ambiente físico-químico para a biosfera; e iv) no processo de retroalimentação planetária envolvendo a biosfera e o ambiente, está implícita a idéia de propósito – ou seja, o programa de pesquisa está comprometido com uma explicação teleológica do funcionamento do sistema Gaia⁵.

Quanto ao papel das explicações teleológicas no programa de pesquisa Gaia, Nunes-Neto (2005) reitera a natureza teleológica das proposições que o compõem, apesar da firme negação de Lovelock quanto ao seu compromisso com explicações teleológicas (ver tb. NUNES-NETO; EL-HANI, 2006). O paradoxo entre a negação de Lovelock quanto ao caráter teleológico de Gaia e a natureza de suas explicações do

⁵ As proposições constituintes do núcleo duro do programa de pesquisa Gaia são apresentadas aqui de modo um pouco diferente do original de Lima-Tavares (2002), mas de maneira a manter o conteúdo das formulações dessa autora.

funcionamento do sistema biota-ambiente é decorrente de uma compreensão equivocada do modo teleológico de explicação. Lovelock acredita que a proposição de explicações teleológicas no contexto de Gaia equivaleria a um compromisso inaceitável com explicações de fenômenos não humanos em termos de propósitos humanos (e.g., LOVELOCK, 1990). Assim, ele termina por perder de vista que explicações teleológicas de fenômenos não humanos que não recorrem à consciência ou a propósitos humanos (i.e., que não são intencionais) são perfeitamente aceitáveis, não considerando, então, como a linguagem teleológica que transparece em seus escritos pode ser formulada de maneira consistente a partir de um modo de explicação teleológico ou, ao menos, funcional, mas não intencional.

Em trabalho posterior, também conduzido em nosso grupo de pesquisa, Nunes-Neto (2005) propôs uma interpretação distinta da estrutura do programa, em relação àquela apresentada por Lima-Tavares (2002), de acordo com a qual a idéia de otimização não é considerada parte do núcleo duro, devendo ser situada no cinturão protetor, como uma hipótese passível de falsificação e podendo, inclusive, ser considerada já falsificada (para maiores detalhes, ver o trabalho original). Nunes-Neto (2005) propõe, ainda, que a idéia de que biosfera e ambiente coevoluem deve ser situada no núcleo duro do programa, ao lado das explicações teleológicas.

Quanto ao seu progresso teórico e/ou empírico, deve-se considerar que o programa de pesquisa Gaia tem dado origem, ao longo de sua história, a uma série de previsões novas sobre o funcionamento do sistema terrestre. Ele tem mostrado, assim, progresso teórico. Além disso, uma parte das previsões novas propostas pelo programa foi apoiada por dados empíricos, o que mostra que Gaia tem apresentado também progresso empírico. A tabela I sumaria alguns indicadores do progresso teórico e empírico desse programa de pesquisa.

Podemos concluir, assim, que o programa de pesquisa Gaia é *científico*, quando examinado à luz dos critérios de cientificidade propostos por Lakatos, na medida em que se trata de um programa progressivo, em termos tanto teóricos quanto empíricos. Essa conclusão leva, por sua vez, a um importante indicativo quanto à legitimidade epistemológica de sua inclusão no conhecimento escolar de ciências.

5. Há legitimação social para a inclusão de Gaia no conhecimento escolar?

Em princípio, podemos construir um argumento bastante direto a favor da legitimidade social de Gaia como conteúdo escolar, tomando como base sua contribuição para a compreensão da crise ambiental e do papel da espécie humana face aos problemas que acometem o planeta. A esse argumento soma-se o de que Gaia pode contribuir substancialmente para a construção de esforços educacionais interdisciplinares, combinando conteúdos de biologia, química, física, geologia etc. na compreensão de temas de grande relevância ambiental, como os ciclos biogeoquímicos e as mudanças climáticas globais.

Tabela I: Alguns exemplos de previsões novas derivadas do programa de pesquisa Gaia e de evidências empíricas que as apoiam ou do poder heurístico que desempenham.

Previsões novas	Apoio empírico e/ou papel heurístico
Marte e Vênus são planetas sem vida, com base na análise das suas composições atmosféricas, seguida de comparação com a atmosfera terrestre (LOVELOCK, 1965; HITCHCOCK; LOVELOCK, 1967).	Apoiada pelos resultados do envio a Marte pela NASA da sonda Mariner (décadas de 1960 e 1970) e da missão Viking (1975). A possibilidade de que exista vida em Marte ainda tem sido, contudo, objeto de pesquisa, em virtude da presença de metano em concentração relativamente constante em sua atmosfera e da possível existência de aquíferos subterrâneos (ATREYA et al., 2007). Caso a presença de metano nesse planeta seja atribuída à existência de seres vivos, e não a processos puramente geoquímicos, isso não fornecerá evidências contrárias, mas antes apoiará Gaia.
Proposta de que os organismos vivos influenciam profundamente o ambiente material, tendo construído as condições físico-químicas da Terra.	Amplamente confirmada. É hoje parte do conhecimento científico convencional.

<p>Atribuição de funções a gases de origem biológica encontrados na atmosfera, como metano (CH₄), óxido nítrico (NO₂), amônia (NH₃) etc. (LOVELOCK; LODGE, 1972; MARGULIS; LOVELOCK, 1974).</p>	<p>Verificação da participação de compostos como, por exemplo, o metano em mecanismos de regulação de variáveis do ambiente físico-químico, como a concentração de O₂ e a temperatura média global (WATSON; LOVELOCK; MARGULIS, 1978, 1980).</p>
<p>Participação dos gases sulfeto de dimetila (DMS), iodeto de metila (CH₃I) e dimetilselênio (C₂H₆Se) na transferência em massa de elementos essenciais entre o mar e a terra (no caso do DMS, LOVELOCK et al., 1972).</p>	<p>Por exemplo, evidências a favor do papel central do DMS na transferência de enxofre dos oceanos para a terra (LOVELOCK et al., 1972).</p>
<p>Atribuição de um papel essencial aos microorganismos procarióticos nos mecanismos de regulação planetária (MARGULIS; LOVELOCK, 1974).</p>	<p>Por exemplo, manutenção dos níveis atmosféricos de O₂ por cianobactérias.</p>
Previsões novas	Apoio empírico e/ou papel heurístico
<p>Envolvimento do DMS de origem biológica em mecanismos de regulação da temperatura planetária, através de seu papel no processo de condensação do vapor d'água e, assim, de formação de nuvens sobre os oceanos (hipótese CLAW, derivada das iniciais dos autores de CHARLSON et al., 1987).</p>	<p>Evidências a favor da atuação de compostos derivados da oxidação do DMS no ar sobre os oceanos como núcleos para a condensação do vapor d'água. Essa previsão do programa de pesquisa Gaia deu origem a um novo e importante tema de pesquisa, a conexão algas-nuvens (<i>cloud-algae link</i>) (HAMILTON; LENTON, 1998; SIMÓ, 2001; VAN RIJSSEL; GIESKES, 2002; KLOSTER et al., 2005).</p>
<p>Proposição de compatibilidade entre Gaia e a teoria sintética da evolução, com base no desenvolvimento de modelos computacionais inspirados pelo 'Mundo das Margaridas' (WATSON; LOVELOCK, 1983).</p>	<p>Simulações computacionais mostrando como a evolução dos seres vivos pode ser entendida em termos de um acoplamento com a evolução do ambiente físico-químico. Muitos desses modelos conciliam Gaia e a teoria sintética (LENTON; LOVELOCK, 2000, 2001).</p>

O envolvimento de organismos nos processos de intemperismo contribui para a regulação do clima, através do aumento da taxa de desgaste das rochas (LOVELOCK, 2003).	Há evidências que mostram o papel de microorganismos no aumento da taxa de desgaste das rochas (LOVELOCK, 2003).
Florestas boreais regulam seu clima regional do mesmo modo que o ‘Mundo das Margaridas’ (LOVELOCK, 2003).	O conhecimento decorrente dessa previsão, feita em 1988, é atualmente importante para a elaboração de modelos sobre o clima global (LOVELOCK, 2003).
A composição química da atmosfera terrestre era dominada no Arqueano pelo metano (LOVELOCK, 2003).	Essa previsão ainda está em teste, mas apresenta forte tendência de ser aceita.
A concentração de oxigênio se manteve em 21±5% durante os últimos 200 milhões de anos (LOVELOCK; LODGE, 1972).	Essa previsão se encontra em teste.

Para explorar mais a legitimidade social da inclusão de Gaia no conhecimento escolar, fizemos uma análise sistemática de propostas de seu uso na educação não formal e na educação formal (em diversos níveis de ensino) (GUIMARÃES, 2007). Realizamos uma busca por todos os artigos que diziam respeito ao uso de Gaia em iniciativas educacionais catalogados em uma das principais bases internacionais de trabalhos acadêmicos na área de educação (Educational Resources Information Center, ERIC, <http://www.eric.ed.gov/>). Entre os 13 artigos levantados, 5 foram obtidos e analisados: Johnson (1983), Forestell (1993), Baker (1993), McGuire (1993) e Haigh (2001)⁶. Esses artigos foram analisados à luz do modelo KVP, buscando-se destacar as indicações que forneciam sobre a legitimação social da inclusão de Gaia no ensino de ciências.

Forestell (1993) discute uma experiência de educação ambiental realizada num contexto de ecoturismo, que utiliza o avistamento de baleias durante passeios para explicar os mecanismos que envolvem seu comportamento e ciclo de vida, as interações com outros seres vivos e o

⁶ Alguns outros artigos foram obtidos, mas foram eliminados após sua leitura, por não tratarem de fato do uso de Gaia em situações educacionais.

funcionamento do ambiente em que vivem. Em geral, esse passeio é a primeira experiência desse tipo para a maioria dos participantes, o que faz com que, numa primeira fase, eles se mostrem apreensivos e façam muitas perguntas sobre a experiência dos guias e as condições de segurança do barco. Isso não impede, contudo, que os guias forneçam informações sobre como reconhecer sinais da presença de baleias e façam uma pequena discussão sobre geografia, geologia e história natural do ambiente ao redor. Nessa primeira fase, também são abordadas práticas que visam à proteção do ambiente marinho durante a viagem, como, por exemplo, a separação de objetos de alumínio para reciclagem, o cuidado para que papéis ou plásticos não sejam lançados ao mar etc. Numa segunda fase, o autor relata o que chama de ‘desequilíbrio dinâmico’, i.e., a excitação dos participantes com a aparição da primeira baleia, que desfaz completamente a apreensão anterior. Nessa fase, muitas perguntas são feitas, especificamente sobre as baleias, e as respostas são dadas sempre com o objetivo de elucidar as interações dinâmicas que têm lugar no ecossistema, descrevendo-se os comportamentos e as interações dos animais e como o ambiente influencia esses comportamentos. Forestell se refere, então, à ‘geofisiologia’, termo cunhado por Lovelock, ao comentar que se busca explicar aos ecoturistas “como a geofisiologia do ambiente forma a diversidade e a abundância de espécies dali” (FORESTELL, 1993, p. 273). Na última fase, os participantes costumam fazer comparações entre o que lhes foi ensinado durante o passeio e o conhecimento que possuíam antes, oriundo tanto da escola quanto dos meios de comunicação. Em geral, ao perceberem a integração dos elementos relacionados às baleias, os ecoturistas se manifestam quanto a questões ambientais abrangentes, como a poluição do ambiente marinho, vinculando-as diretamente a ações da humanidade e, inclusive, deles próprios. Muitos ecoturistas terminam por mostrar desejo de cooperar de alguma forma com práticas e movimentos ambientalistas, e os guias lhes apresentam opções para tal engajamento.

Na conclusão do artigo, Forestell discute a ‘hipótese Gaia’, afirmando que ela traz o desafio do reconhecimento de que o equilíbrio planetário resulta da atividade dos indivíduos. Além disso, ele destaca que, no contexto da educação ambiental, Gaia fornece apoio à expressão largamente utilizada “pense globalmente, aja localmente” (idem, p. 278),

contrapondo-se a uma visão mecanicista do funcionamento do planeta e favorecendo a idéia de integração.

À luz do modelo KVP, pode-se perceber que as concepções do autor, principalmente aquelas relativas à conscientização ambiental, tiveram um papel importante na construção do programa de ecoturismo marinho relatado, que se pauta, decerto, pelos conhecimentos, pelos valores e pelas práticas de seus proponentes e participantes. Esses conhecimentos, valores e práticas estão refletidos em todo o artigo, que relata as informações transmitidas aos visitantes e as práticas estimuladas durante os passeios, além do incentivo ao engajamento dos ecoturistas em movimentos e/ou práticas ambientalistas.

Baker (1993) discorre sobre sua própria experiência como professor em um curso universitário de introdução à biologia que utiliza o estudo da ‘hipótese’ Gaia para ilustrar o desenvolvimento de uma hipótese científica e a integração de diversos aspectos da biologia, além das relações desta com outras disciplinas do currículo acadêmico. Após o estudo dos tópicos que considera mais relevantes para o entendimento de Gaia, a teoria propriamente dita é apresentada. Inicialmente, é fornecida aos estudantes uma série de trabalhos que descrevem o desenvolvimento do programa de pesquisa Gaia. Em seguida, os estudantes recebem um questionário para ser respondido⁷, que só deverá ser finalizado após a exibição do vídeo *GALA: Goddess of the Earth* (1986) e a discussão do mesmo com a turma inteira. O vídeo consiste num relato de 50 minutos sobre a ‘hipótese’ Gaia, em que o próprio Lovelock, seus colaboradores e críticos descrevem o programa de pesquisa e apresentam as controvérsias a seu respeito e a variedade de

⁷ O questionário usado por Baker consiste das seguintes perguntas: 1. Com suas próprias palavras: a. Enuncie a hipótese inicial. b. Liste a seqüência de revisões feitas na hipótese. c. Descreva a versão atual da hipótese Gaia como VOCÊ a entende. 2. Liste duas razões pelas quais a Hipótese Gaia foi (é) controversa. 3. Qual é a diferença entre um organismo e a Terra como um “organismo”? Considere os argumentos e comentários feitos por Lovelock e Dawkins no vídeo. Como a controvérsia contribui para a revisão da hipótese? 4. Qual é sua definição para “geofisiologia”, o termo cunhado por Lovelock? 5. Como a descoberta das algas produtoras de enxofre apóia a Hipótese Gaia? Liste outros processos que apóiam a hipótese. 6. É correto dizer que a Terra física e a vida coevoluíram? Há evidências que apóiam isso? Dê exemplos apropriados. 7. Qual sua impressão de James Lovelock após a leitura de seu artigo e após vê-lo no vídeo? Comente, na sua visão, a credibilidade dele e de seu desenvolvimento da Hipótese Gaia. Leve em consideração como ele responde às críticas (BAKER, 1993, p.116).

experimentos usados para testar suas afirmações sobre o sistema terrestre. Após o vídeo, é realizada a discussão em classe, tendo como ponto de partida as respostas dos estudantes ao questionário. Então, eles terminam de redigir suas respostas e produzem um relatório.

McGuire (1993) descreve atividades que realiza numa escola de ensino médio no estado de New York, nos Estados Unidos, nas quais Gaia é relacionada às alterações sofridas pelo planeta durante os últimos quatro bilhões de anos. Antes de propor as atividades aos estudantes, ele apresenta um exemplo de gráfico cumulativo, que auxilia no desenvolvimento da primeira atividade, na qual os estudantes devem construir, reunidos em pequenos grupos, um gráfico que descreva as mudanças sofridas pelas proporções dos gases atmosféricos da Terra num período que se estende de quatro bilhões de anos atrás até a atualidade. Nesse mesmo gráfico, eles devem indicar as ocorrências de eventos importantes na evolução do planeta, como o surgimento dos organismos fotossintetizantes e o período a partir do qual os fósseis se tornam mais abundantes. Em seguida, toda a turma responde a um questionário⁸.

Além das atividades em sala, McGuire sugere que seja obtida uma cópia de um jogo de computador desenvolvido sob a orientação de Lovelock, o *SimEarth*. Esse jogo foi desenhado para ensinar às pessoas as interações dos organismos com o sistema planetário, em um mundo

⁸ O questionário de McGuire contém as seguintes questões: 1. Qual é a idade aproximada da Terra? 2. Há quanto tempo, de acordo com o que sabemos, existe vida na Terra? 3. Quantos milhões existem em um bilhão? 4. É raro encontrar fósseis que tenham mais de 570 milhões de anos. Qual característica física das formas vivas dessa era é responsável pela falta de boas evidências fósseis? 5. Por que o intemperismo químico tipo oxidação era incomum há mais de 2 bilhões de anos? (Pista: olhe o gráfico.) 6. A partir de seu conhecimento das ciências da vida, qual gás é eliminado pelas plantas verdes durante a fotossíntese? 7. Qual gás foi depletado por volta do tempo em que o oxigênio se tornou abundante? 8. Por que este gás não podia existir com o oxigênio na atmosfera? 9. Portanto, o que parece ter sido a maior causa da dramática mudança na composição da atmosfera terrestre ao longo dos últimos 4 bilhões de anos? 10. Quais as maiores mudanças atmosféricas que você imagina serem prováveis para o futuro? (Seja específico.) 11. Como essas mudanças na atmosfera ilustram a teoria Gaia? 12. Tanto Marte quanto Vênus têm atmosferas dominadas por dióxido de carbono. Por que a Terra é diferente? 13. Além de fornecer oxigênio para a respiração, como a produção do oxigênio elementar na atmosfera também permitiu o desenvolvimento das formas de vida terrestres? (MCGUIRE, 1993, p. 32).

simulado, além de ser, em sua visão, uma diversão que entretém os estudantes e lhes ensina os princípios básicos de Gaia.

No último parágrafo de seu artigo, McGuire se refere a Gaia como uma valiosa *'metáfora'*, que pode promover, no contexto escolar, o entendimento das interações da humanidade com os complexos sistemas envolvidos na dinâmica planetária. Contudo, ao longo do texto, ele trata Gaia como uma *'teoria'* científica, embora controversa. Essa justaposição do tratamento de Gaia como uma teoria e como uma metáfora sugere uma tensão em relação ao posicionamento desse autor quanto à cientificidade do programa de pesquisa, na medida em que a última mensagem sobre Gaia que deixa para seus leitores é a de que ela é apenas uma metáfora.

Analisando os artigos de Baker (1993) e McGuire (1993) à luz do modelo KVP, observamos que o enfoque dos dois trabalhos recai principalmente sobre o conhecimento, entre os três pólos que interagem para produzir uma concepção. Ambos relatam sobretudo práticas conduzidas em sala de aula, havendo pouca referência a práticas de alcance mais global. Estas são explicitamente referidas somente em um pequeno trecho do trabalho de McGuire (1993), quando o autor comenta que, apesar dos esforços para a conservação de pequenas regiões da Terra, a longo prazo, mudanças globais são inevitáveis. Segundo ele, precisamos ser capazes de prevenir mudanças traumáticas e nos adaptar à evolução de nosso planeta. Esse trecho sugere práticas de valorização do meio ambiente e de conscientização da humanidade em relação às mudanças que o planeta vem enfrentando, para que possamos estar mais preparados para as mesmas e compreendamos o papel de nossa espécie nessas alterações planetárias.⁹ Essas práticas são acompanhadas, por sua vez, por valores conservacionistas. Em Baker (1993), nenhuma prática social além daquelas que têm lugar na sala de aula é explicitada. Contudo, consideramos que o fato de esses professores tratarem de Gaia em suas salas de aula indica, por si só, certa concepção acerca dos problemas ambientais e das mudanças de valores e atitudes que eles demandam, relacionadas ao conhecimento sobre

⁹ Idéias muito próximas às de McGuire estão presentes em *A Vingança de Gaia*, livro em que Lovelock (2006b) apresenta sua visão do problema das mudanças climáticas, assim como propõe soluções para a adaptação da civilização a um mundo mais quente e mais populoso.

o papel da humanidade no cenário global e as implicações de nossas atividades para as alterações sofridas pelo planeta.

Johnson (1983) discute a prática pedagógica de um professor de biologia de uma escola norte-americana de ensino médio, Neal Maine, associando seu sucesso na construção, com seus estudantes, de uma visão de um mundo composto de sistemas e ciclos que se relacionam de forma intrincada à necessidade de uma nova abordagem da estrutura do conhecimento. Essa nova abordagem deve objetivar, para Johnson, o entendimento de como a humanidade é parte ativa nas transformações sofridas pelo ambiente global, bem como a integração dos conhecimentos, transcendendo as disciplinas separadas. Para ele, a ‘hipótese’ Gaia traz tais possibilidades de mudanças para a educação, na medida em que se afasta de certas abordagens da educação ambiental que colocariam para os estudantes uma “noção desesperadora de um ambiente cheio de problemas, impondo limites para a humanidade” (JOHNSON, 1983, p. 43). Como as idéias de Lovelock enfatizam as interconexões da humanidade com o ambiente como um todo, elas poderiam trazer, no entendimento de Johnson, “uma visão de mundo mais esperançosa, menos paralisante, e um desafio mais profundo e fascinante para a educação” (JOHNSON, 1983, p. 42).

As atividades realizadas pelo professor Maine com seus estudantes resultam na produção de um jornal estudantil, o “*Student Oceanography Newsletter*”, uma iniciativa dos próprios estudantes. Além disso, são também produzidas mostras de *slides* sobre temas ambientais. Os estudos que visam a propiciar o entendimento dos ciclos naturais são iniciados pela biologia de uma espécie – frequentemente o salmão, por ser um importante recurso na região onde vivem – e, em seguida, passam ao ecossistema como um todo. Johnson discorre, inclusive, sobre como os estudantes acabam por levar essa visão integrada do mundo para outras áreas de suas vidas, como as relações familiares e as atitudes de suas comunidades em relação às metas econômicas, mostrando certo nível de senso crítico diante do mundo.

No artigo de Johnson (1983), temos claramente a expressão dos três pólos que constituem uma concepção, de acordo com o modelo KVP. Além do conhecimento gerado pelo estudo de Gaia, o autor relata

mudanças nos valores dos estudantes, ao despertarem para a visão de um mundo composto de sistemas e ciclos relacionados de maneira intrincada, incluindo os ambientes humanos. Esses novos valores podem, por sua vez, dar lugar a práticas sociais também renovadas. As novas concepções que a intervenção pedagógica de Maine parece estimular em seus estudantes, envolvendo valores, práticas e conhecimentos renovados, têm o potencial de interferir de maneira direta na sua formação como cidadãos¹⁰.

Haigh (2001) descreve uma experiência no ensino superior na qual os estudantes devem elaborar um jornal sobre Gaia, com o objetivo de construir um entendimento pessoal dessa teoria. Tal atividade busca também contribuir para a promoção de um aprendizado subjetivo, da introspecção e da autoconsciência dos estudantes, de modo a torná-los mais reflexivos diante de seus próprios processos de aprendizagem. Quando a proposta de atividade é introduzida, o professor enfatiza a importância de que o jornal seja escrito a partir da exploração subjetiva de cada estudante sobre o desenvolvimento de seu entendimento de Gaia. Nesse primeiro contato, também é exibido o vídeo *GALA: Goddess of the Earth*, já mencionado anteriormente. No decorrer do curso, são

¹⁰ O artigo de Johnson (1983) sugere caminhos para a legitimação social de Gaia como conteúdo escolar de ciências, mas, ao mesmo tempo, aponta para polêmicas sobre Gaia no contexto do ambientalismo. Johnson se preocupa com uma educação ambiental desesperadora e vê em Gaia, uma visão mais esperançosa. Ambientalistas têm criticado Gaia com base na idéia de que ela contribui para que não se tenha em vista a necessidade de se tomar medidas sérias e urgentes contra a crise ambiental, dado que as idéias de Lovelock parecem por vezes atenuar os efeitos das ações humanas, afirmando a capacidade do sistema Gaia de restaurar seu equilíbrio, mesmo diante de grandes catástrofes. Essas críticas não têm em conta um argumento comum nos trabalhos recentes de Lovelock, a saber, que a idéia de um planeta resistente, que apresenta sistemas cibernéticos de regulação, implica também que esses sistemas possuem limites de resiliência, que, se forem superados, levarão à perda da capacidade de regulação, tendo como resultado um rápido agravamento da crise ambiental. Mais recentemente, novas polêmicas resultaram da defesa por Lovelock (2006b) do uso de energia nuclear em maior escala, como um paliativo enquanto buscamos fontes mais viáveis de energia, ou de sua proposta de colocação de canos nos oceanos para misturar os nutrientes e favorecer *blooms* de algas, que levariam, então, a uma maior fixação de CO₂ e a uma maior formação de nuvens, reduzindo o aquecimento global (LOVELOCK; RAPLEY, 2007). Por mais controversas que sejam essas propostas, é importante ter clareza de que elas não minam, por si sós, a legitimidade epistemológica e social de Gaia. Acreditamos, inclusive, que elas podem ser férteis num uso pedagógico da teoria, porque permitem tratar da complexidade das questões ambientais, da diversidade de discursos a seu respeito e das relações sociais que se estruturam em torno delas.

trabalhados argumentos científicos que envolvem bioquímica, biogeografia e teoria dos sistemas dinâmicos, no contexto do modelo do mundo das margaridas, com o intuito de mostrar como funcionam os processos globais de auto-regulação do ambiente.

Haigh defende que Gaia deve ser ensinada, por ser um programa de pesquisa ousado, transdisciplinar e holístico, além de ser divertida tanto para ensinar quanto para aprender, segundo os seus próprios alunos. Ele também destaca outros motivos para apresentar aos estudantes um conteúdo em princípio tão heterodoxo: primeiro, a educação universitária deve ser uma oportunidade de encontrar e avaliar criticamente novas idéias e novos modos de pensar; segundo, o progresso de Gaia é visível ao longo de sua história, o que permite ilustrar em termos gerais como se dão os processos de mudança e desenvolvimento de programas de pesquisa científica; terceiro, Gaia traz à tona todo um conjunto de questões de pesquisa novas e incomuns. Além da aprovação dos estudantes, que consideram a atividade bastante apropriada para sua formação, o autor argumenta que seu trabalho mostra como Gaia oferece um ambiente adequado para uma aprendizagem construtivista. Ele também argumenta que as idéias heterodoxas da teoria desafiam os estudantes a pensar de maneira profunda, crítica e autoconsciente em relação ao modo como entendiam previamente o mundo. Em termos do modelo KVP, as oportunidades de reflexão oferecidas aos estudantes constituem um incentivo para que transformem suas concepções, na medida em que seu conhecimento e, potencialmente, seus valores e suas práticas mudam.

A inclusão de Gaia no conhecimento escolar, em todos os níveis de ensino, bem como na educação ambiental e em outras situações de educação não formal, nos parece legítima, em suma, tanto em termos epistemológicos quanto sociais.

6. Conclusões

A construção dos currículos escolares é aqui entendida – nos marcos do modelo KVP – como um processo de transposição didática, no qual um conteúdo, para ser parte do conhecimento escolar, deve ter legitimidade tanto social quanto epistemológica. A legitimação social se

explícita numa questão fundamental na construção de todo e qualquer currículo: o que precisam aprender as pessoas a quem pretendemos ensinar? Ou, dito de outra maneira, quem queremos formar? E para quê? Podemos até mesmo dizer que a legitimação social, no processo de construção dos currículos, é anterior à legitimação epistemológica. Primeiro, precisamos definir quem queremos formar e para quê; em seguida, o que é preciso ensinar para alcançar esse objetivo; e, somente então, precisamos nos assegurar de que o que pretendemos ensinar é epistemologicamente legitimado. Contudo, deve ter ficado evidente ao longo deste trabalho que damos grande valor à legitimação epistemológica, de modo que não consideramos que um conteúdo incompatível com o conhecimento de referência de certa área deva ser ensinado, mesmo que possa eventualmente gozar de legitimação social.

O modelo KVP foi por nós escolhido para tratar do processo de construção do conhecimento escolar porque captura de modo heurísticamente fértil os vários níveis do processo de transposição didática e as tensões entre os vários atores envolvidos no mesmo. Exploramos esse modelo na análise de artigos que tratam do uso de Gaia em situações educacionais, visando a dar conta das concepções dos atores envolvidos no processo de transposição de idéias sobre Gaia, como o resultado das interações de três pólos – o conhecimento acadêmico, os sistemas de valores e as práticas sociais. Essa análise nos permitiu concluir que há uma via plausível de legitimação social para a abordagem de Gaia como parte do conhecimento escolar, relativa à necessidade de conscientização ambiental dos estudantes face à crise ambiental e à conseqüente necessidade de uma mudança na compreensão dos fatores envolvidos em tal crise (o pólo do *conhecimento*), dos valores que norteiam a relação de nossa espécie com a natureza (o pólo dos *valores*) e das atitudes que temos frente a uma série de processos relacionados àquela crise (o pólo das *práticas*).

Ao discutirmos a questão da cientificidade do programa de pesquisa Gaia, recorreremos a uma análise epistemológica que fornece evidências de progresso teórico e empírico ao longo da história do programa, permitindo concluir, à luz de uma teoria da ciência específica – desenvolvida por Lakatos –, que Gaia é um programa de pesquisa científica. Isso nos levou, por sua vez, à conclusão de que há uma via

plausível de legitimação epistemológica para a inclusão de Gaia no conhecimento escolar, mesmo se tratando de um programa de pesquisa controverso. Sua natureza controversa pode ser inclusive explorada numa tentativa de ensinar aos estudantes a natureza da ciência.

Defendemos também que o ensino sobre Gaia deve enfatizar a idéia central de um sistema de controle adaptativo do ambiente físico-químico da Terra, no qual os seres vivos desempenham papel central, em vez de formulações metafóricas ou, no mínimo, controversas, como a de que a Terra ou o sistema Gaia em seu conjunto seria um ser vivo. Propomos, ainda, que Gaia seja explorada como um contexto ou ambiente de aprendizagem interdisciplinar, que possa levar a um entendimento integrado de várias áreas da ciência.

Um dos próximos passos de nossa pesquisa consistirá na proposição, com base no modelo KVP, de uma seqüência de ensino para o nível médio de escolaridade, com o objetivo de estimular os estudantes a conhecer as principais idéias do programa de pesquisa Gaia, assim como fomentar a construção de uma nova percepção do mundo ao nosso redor e do papel de nossa espécie nele, visando à construção de novos valores e ao incentivo de práticas mais condizentes com a condição ambiental atual. Essa seqüência deverá ser testada em situações de sala de aula, de modo que possamos analisar qual contribuição a teoria Gaia pode trazer para a construção pelos estudantes de uma nova concepção sobre o ambiente e o papel de nossa espécie na dinâmica do sistema Gaia.

Referências

ASTOLFI, Jean-Pierre; DEVELAY, Michel. *A didática das ciências*. 2. ed. Campinas: Papirus, 1991.

ATREYA, Sushil K.; MAHAFFY, Paul R.; WONG, Ah-San. Methane and related trace species on Mars: Origin, loss, implication for life and habitability. *Planetary and Space Science*, Elmsford, v. 55, n. 3, p. 358-369, 2007.

BADINER, Allan H. (Ed.). *Dharma Gaia: A harvest of essays in Buddhism and ecology*. Berkeley-CA: Parallax Press, 1990.

BAKER, Gail A. Using the Gaia hypothesis to synthesize an introductory biology course. *The American Biology Teacher*, Reston, v. 55, n. 2, p. 115-116, 1993.

CAPRA, Fritjof. *The Web of Life*. New York: Anchor Books, 1996.

CARAVITA, Silvia et al. Construction and validation of textbook analysis grids for ecology and environmental education. In: INTERNATIONAL ORGANISATION FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION (IOSTE), 2007, Hammamet (Tunisia). Hammamet: IOSTE, 2007. p.348-364.

CARMO, Ricardo Santos do; NUNES-NETO, Nei de Freitas.; EL-HANI, Charbel Niño. Gaia Theory in Brazilian High School Biology Textbooks. In: INTERNATIONAL ORGANISATION FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION (IOSTE), 2007, Hammamet (Tunisia). Hammamet: IOSTE, 2007. p. 365-379.

CHALMERS, Alan F. *O Que é Ciência Afinal?* São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHARLSON, Robert J. et al. Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate. *Nature*, Washington, v. 326, n. 6114, p. 655-661, 1987.

CHEVALLARD, Yves. *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique, 1991.

CLÉMENT, Pierre. *Didactic Transposition and KVP Model: Conceptions as Interactions Between Scientific knowledge, Values and Social Practices*. Braga: ESERA Summer School, 2006.

DELIZOICOV, Demetrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez, 2002.

DEVELAY, Michel. *De l'apprentissage à l'enseignement*. Paris: ESF, 1992. (Coll. Pédagogies).

FEYERABEND, Paul K. Consolando o especialista. In: LAKATOS, Imre; MUSGRAVE, Alan (Org.). *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento Científico*. São Paulo: Cultrix, 1979. p. 244-284.

FORESTELL, Paul H. If Leviathan Has a Face, Does Gaia Have a Soul? Incorporating Environmental Education in Marine Eco-tourism Programs. *Ocean and Coastal Management*, Amsterdam, n. 20, p. 267-282, 1993.

GAIA: Goddess of the Earth. Programa da WGBH. Boston: NOVA, 1986. 1 videocassete (50 min), VHS, son., color.

GUIMARÃES, Maria Daniela Martins. *A teoria Gaia no ensino de biologia: revisão crítica de literatura e proposta de seqüência de ensino para sua inclusão no ensino médio*. 2007. 106 f. Monografia (Bacharelado) – Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

HAIGH, Martin J. Constructing Gaia: Using journals to foster reflective learning. *Journal of Geography in Higher Education*, Oxford, v. 25, n. 2, p. 167-189, 2001.

HAMILTON, W. D.; LENTON, Timothy M. Spora and Gaia: how microbes fly with their clouds. *Ethology, Ecology & Evolution*, Firenze, v. 10, n. 1, p. 1-16, 1998.

HITCHCOCK, D. R.; LOVELOCK, J. E. Life detection by atmospheric analysis. *Icarus*, San Diego, v. 7, n. 2, p. 149-159, 1967.

JOHNSON, Phillip. Connecting patterns through environmental education. *Educational Leadership*, Washington, v. 40, n. 7, p. 40-44, abr. 1983.

KIRCHNER, James W. The Gaia hypothesis: Can it be tested? *Reviews of Geophysics*, Washington, v. 27, n. 2, p. 223-235, 1989.

_____. The Gaia hypothesis: Are they testable? Are they useful? In: SCHNEIDER, S.H.; BOSTON, P.J. *Scientists on Gaia*. Cambridge-MA: MIT Press, 1993. p. 38-46.

KLEIDON, Axel. Testing the effect of life on Earth's functioning: How gaian is the Earth system? *Climatic Change*, Dordrecht, v. 52, p. 383-389, 2002.

KLOSTER et al. DMS cycle in the marine ocean atmosphere system – a global model study. *Biogeosciences Discuss.*, v. 2, p. 1067-1126, 2005.

LAKATOS, Imre. *The methodology of scientific research programmes – Philosophical papers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1980, v. 1.

LENTON, Timothy M. Clarifying Gaia: regulation with or without natural selection. In: SCHNEIDER, Stephen H. et al. *Scientists debate Gaia: the next century*. Cambridge-MA: The MIT Press, 2004. p. 15-26.

LENTON, Timothy M.; LOVELOCK, James E. Daisyworld is Darwinian: Constraints on adaptation are important for planetary self-regulation. *Journal of Theoretical Biology*, London, v. 206, p. 109-114, 2000.

_____. Daisyworld revisited: Quantifying biological effects on planetary self-regulation. *Tellus Series B – Chemical and Physical Meteorology*, Copenhagen, v. 53, n. 3, p. 288-305, 2001.

LENTON, Timothy M.; VAN OIJEN, Marcel. Gaia as a complex adaptive system. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, London, v. 357, p. 683-695, 2002.

LIMA-TAVARES, Marina de. *Gaia e Ciência: Uma Análise da Cientificidade da teoria Gaia de acordo com a Metodologia dos Programas de Pesquisa de Lakatos*. 2002. 190f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia / Universidade Federal de Feira de Santana, Salvador, 2002.

LIMA-TAVARES, Marina de; EL-HANI, Charbel Niño. Um olhar epistemológico sobre a transposição didática da teoria Gaia. *Investigações em ensino de ciências*, Porto Alegre, v. 6, n. 3, dez. 2001. Disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n3/v6.n3.a4.htm#\(1\)#\(1\)](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n3/v6.n3.a4.htm#(1)#(1)).

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Conhecimento escolar em química: processo de mediação didática da ciência. *Química Nova*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 5, p. 563-568, 1997.

LOVELOCK, James E. A physical basis for life detection experiments. *Nature*, Washington, v. 207, n. 7, p. 568-570, 1965.

_____. Are we destabilising world climate? The lessons of geophysiology. *The Ecologist*, Cornwall, v. 15, p. 52-55, 1985.

_____. Geophysiology: A new look at earth science. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Boston, v. 67, p. 392-396, 1986.

_____. Hands up for the Gaia hypothesis. *Nature*, Washington, v. 344, p.100-102, 1990.

_____. *As Eras de Gaia*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1991.

- _____. *Gaia: Um novo olhar sobre a vida na Terra*. Lisboa: Edições 70, 1995.
- _____. *Gaia: A New Look At Life On Earth*. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- _____. The living Earth. *Nature*, Washington, v. 426, p. 769-770, 2003.
- _____. *Gaia: cura para um planeta doente*. São Paulo: Cultrix, 2006a.
- _____. *A vingança de Gaia*. Tradução de Ivo Kirtovsky. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006b.
- LOVELOCK, James E.; LODGE, James P. Oxygen in the contemporary atmosphere. *Atmospheric Environment*, New York, v. 6, p. 575-578, 1972.
- LOVELOCK, James E.; RAPLEY, Christopher G. Ocean pipes could help the Earth cure itself. *Nature*, Washington, v. 449, p. 403, 2007.
- LOVELOCK, James E.; MAGGS, R.J.; RASMUSSEN, R.A. Atmospheric dimethyl sulphide and the natural sulphur cycle. *Nature*, Washington, v. 237, p. 452-453, 1972.
- MARANDINO, Martha. Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação e museus de ciências. *Revista Brasileira de Educação*, São Paulo, n. 26, p. 95-108, 2004.
- MARGULIS, Lynn. James Lovelock's Gaia. In: BUNYARD, P. (Ed.). *Gaia in action: Science of the living Earth*. Edinburgh: Floris Books, 1997. p.54-64.
- MARGULIS, Lynn; LOVELOCK, James E. Biological modulation of the earth's atmosphere. *Icarus*, San Diego, n.21, p.471-489, 1974.
- MCGUIRE, Thomas. The Gaia nineties: Is it time to re-evaluate this controversial theory? *Science Teacher*, Normal, v. 60, n.6, p. 30-35, 1993.
- NICHOLSON, Shirley; ROSEN, Brenda (Org.). *A vida oculta de Gaia: A inteligência invisível da Terra*. São Paulo: Gaia, 1997.
- NUNES-NETO, Nei de Freitas. *Explicações Teleológicas na Teoria Gaia*. 2005. 109f. Monografia (Bacharelado) – Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.
- NUNES-NETO, Nei de Freitas; EL-HANI, Charbel Niño. Gaia, Teleologia e Função. *Episteme*, Porto Alegre, v. 11, p. 15-48, 2006.
- POSTGATE, John. Gaia gets too big for her boots. *New Scientist*, London, v. 118, n. 1607, p. 60, 1988.
- SAHTOURIS, Elisabet. *EarthDance: Living Systems in Evolution*. New York: Praeger, 2000.
- SCHNEIDER, Stephen H. et al. *Scientists debate Gaia: the next century*. Cambridge-MA: The MIT Press, 2004.
- SIMÓ, Rafel. Production of atmospheric sulfur by ocean plankton: biogeochemical, ecological and evolutionary links. *Trends in Ecology and Evolution*, Amsterdam, v. 16, p. 287-294, 2001.
- VAN RIJSSEL, Marion; GIESKES, Winfried. Temperature, light, and the Dimethylsulfoniopropionate (DMSP) content of *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae). *Journal of Sea Research*, v. 48, n. 1, p. 17– 27, 2002.
- VOLK, Tyler. *Gaia's body: Toward a physiology of the earth*. New York: Copernicus, 1998.

WATSON, Andrew J.; LOVELOCK, James E. Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld. *Tellus, Series B – Chemical and Physical Meteorology*, Copenhagen, v. 35, n. 4, p. 284-289, 1983.

WATSON, Andrew J., LOVELOCK, James E.; MARGULIS, Lynn. Methanogenesis, fires and the regulation of atmospheric oxygen. *Biosystems*, Amsterdam, v. 10, p. 293-298, 1978.

_____. What controls atmospheric oxygen? *Biosystems*, Amsterdam, v. 12, p. 123-125, 1980.

WILKINSON, David M. Gaia and natural selection. *Trends in Ecology & Evolution*, Amsterdam, v. 14, n. 7, p. 256-257, 1999.

Artigo recebido em 14/11/2007 – Aprovado em 15/06/2008