

## Modelagem matemática no ensino, complexidade e saberes necessários à educação do futuro

*Lênio Fernandes Levy\* e Adilson Oliveira do Espírito Santo\*\**

Resumo: No presente artigo, discorremos acerca da possibilidade de um trabalho em que se conjuguem modelagem matemática no ensino e epistemologia da complexidade. Apresentamos alguns princípios do paradigma complexo “moriniano<sup>1</sup>”, em seguida aos quais argumentamos em prol da ampliação conceitual da “modelagem matemática no ensino”, a fim de que esta seja considerada sob a ótica da teoria da complexidade, em especial na perspectiva dos “sete saberes morinianos necessários à educação do futuro”.

Palavras-chave: Modelagem matemática no ensino; complexidade.

Mathematical modeling in the teaching, complexity and knowledges necessary for the education of the future

Abstract: In the present article, discourse about the possibility of a work, it unite mathematical modeling in teaching and epistemology of complexity. They are showed some principles of complex paradigm “morinian<sup>2</sup>”, following them discuss objective of concept enlargement of “mathematical modeling in teaching” with finality considered under the behold of complexity theory, especially in perspective of “the seven morinian wisdoms needful to education of the future”.

Key words: Mathematical modeling in teaching; complexity.

### O paradigma epistemológico da complexidade

Edgar Morin preconiza a distinção entre as partes de/e uma totalidade e, ao mesmo tempo, busca sensibilizar-nos quanto às relações que existem ou que podem existir entre elas.

O pensamento que separa tem que ser complementado pelo pensamento que une. As insuficiências do pensamento simplificador não exprimem a unidade e a diversidade que há no todo (Petraglia, 2002).

\* Professor do Instituto de Educação Matemática e Científica (IEMCI), Universidade Federal do Pará (UFPA). leniolevy@ig.com.br

\*\* Professor do Instituto de Educação Matemática e Científica (IEMCI), Universidade Federal do Pará (UFPA). adilson@

<sup>1</sup> Termo relativo ao pensamento de Edgar Morin, autor de um sistema filosófico fundamentado na complexidade, “[...] que traz em seu bojo a tarefa de ligar tudo que está disjunto” (Petraglia, 2002, p.40).

<sup>2</sup> Relative term about Edgar Morin’s thought, author of philosophic system founded in complexity, “[...] bring in it bulge the task to connect with everything that are not together” (Petraglia, 2002, p. 40).

O pensamento complexo não desconsidera o pensamento simplificador, porém demanda que a especialização seja complementada pela construção de vínculos entre os (dos) elementos do (com o) conjunto cognitivo, tendo em vista elaborar uma concepção menos imprecisa acerca dos objetos de estudo. Morin (2001a) afirma que legislar, disjuntar e reduzir são os princípios fundamentais do pensamento clássico e que não se trata doravante de aboli-los, mas de perceber a sua insuficiência, porquanto não há fenômeno simples.

Outro imperativo do ideário moriniano é a noção de “incerteza”. Por oportuno:

O abandono das concepções deterministas da história humana que acreditavam poder prever nosso futuro, o estudo dos grandes acontecimentos e desastres de nosso século, todos inesperados, o caráter doravante desconhecido da aventura humana devem-nos incitar a preparar as mentes para esperar o inesperado, para enfrentá-lo. É necessário que todos os que se ocupam da educação constituam a vanguarda ante a incerteza de nossos tempos (Morin, 2002a, p. 16).

O objetivo da complexidade é, ao mesmo tempo, unir e enfrentar o desafio da incerteza. No sentido aqui exposto, *incerteza denota criatividade*. Prigogine (1996) assevera que a confirmação do indeterminismo das leis naturais trouxe novo alento aos partidários da existência do livre-arbítrio, sendo a incerteza um caminho estreito entre o acaso puro e o determinismo. Trata-se de um caminho desbravado por conceitos estocásticos, que anunciam uma previsibilidade no que se refere a certos comportamentos coletivos. Por sua vez, o devir individual, em situações complexas — que envolvem relações entre *muitas* singularidades —, mantém-se no âmbito da imprevisibilidade.

Nussenzweig faz a seguinte afirmação:

Que a ordem pode levar ao caos já havia sido antecipado por Poincaré, mas isto foi redescoberto pela análise da incerteza nas previsões meteorológicas *in silico* [...]. Leis determinísticas, como as leis de movimento da mecânica clássica, que se costumava relacionar a fenômenos ordenados e regulares podem levar à imprevisibilidade a longo prazo associada ao caos. Aliás, isso constitui a regra, não a exceção. Um fator que contribui para a imprevisibilidade é a *sensibilidade a condições iniciais*. Um desvio muito pequeno dessas condições é amplificado exponencialmente pela evolução do sistema, produzindo um resultado muito diferente. É o que tende a acontecer na previsão do tempo a longo prazo.

A existência de ordem dentro do caos é exemplificada pela grande mancha vermelha de Júpiter – uma estrutura coerente gigantesca, que sobrevive na atmosfera de forte turbulência do planeta há no mínimo três séculos. Dentro de uma estrutura caótica, sobrevivem em muitos casos vestígios de ordem, relacionados com evoluções regulares, mas instáveis (ver “Caos em sistemas dissipativos e hamiltonianos”) (Nussenzweig, 1999, p. 16, grifos do autor).

Prigogine assevera que:

[...] E eis que mostramos que há dinâmicas das probabilidades! Que o futuro, como nas estruturas dissipativas, não está determinado! E a razão, no fundo, desse “indeterminismo”, é que esses sistemas nos quais esses fenômenos aparecem não se explicam com base nas partículas individuais, mas nos conjuntos; a física deve integrar as estruturas de conjuntos; como, igualmente, não se pode fazer sociologia com base em um único indivíduo (Prigogine, 2002, p. 37-38).

De acordo com Morin, “na termodinâmica, Prigogine detectou fenômenos de bifurcação no mundo físico. Num dado momento, encontram-se em jogo fatores de influências mútuas, sendo suficiente um fator infinitesimal para que um processo caminhe mais por um caminho do que pelo outro” (Morin, 2002c, p. 94).

Ainda segundo Morin:

Toda estatística comporta uma visão de duas categorias: na categoria dos indivíduos, acontece a eventualidade, a desordem, as colisões; na categoria das populações, acontecem as regularidades, as probabilidades, as necessidades. É claro que a restauração da ordem e da previsão no nível estatístico não elimina a desordem e a imprevisibilidade no nível individual. Por exemplo, podemos fazer uma previsão estatística bastante precisa dos acidentes e das mortes nas estradas nos fins de semana ou no feriado da Páscoa. Mas ninguém pode prever quem vai morrer nesses acidentes, a começar por aqueles que serão as vítimas (Morin, 2001b, p. 214).

### Alguns princípios

O pensamento complexo é condizente com o chamado “princípio organizacional ou sistêmico” (vide a “teoria dos sistemas”), segundo o qual o todo é, ao mesmo tempo, maior e menor do que a soma das partes (Morin, 2001b). Nesse sentido, imaginemos uma

comunidade ou sociedade humana e seus integrantes. Existem leis, tradições, hábitos e comportamentos coletivos que não resultam do simples amontoado de indivíduos. Trata-se da emergência de propriedades resultantes de ações integradoras e que fazem com que a comunidade ou sociedade seja vista como algo maior do que a soma desarticulada de seus membros. Ao mesmo tempo, vários aspectos dos sentimentos, dos desejos, dos sonhos, das ideias individuais, etc. encontram-se inibidos, não se manifestam, ficam em estado latente, com vistas a que se possa ter uma convivência social *pacífica* ou minimamente aceitável, de modo que a soma das partes, que nesse caso denota a soma das singularidades pessoais, é maior do que o todo que as abrange, ou seja, é superior, no exemplo em questão, à sociedade agregadora.

Ademais, a complexidade preza o “princípio dialógico”, ou seja, admite a compatibilidade entre noções antagônicas, que aparentemente deveriam repelir uma à outra (Morin, 2001b), a exemplo do diálogo entre parte e todo; entre, digamos, cidadão e sociedade.

Há também o “princípio da recursão”, denotativo da ideia de circularidade entre causa e efeito (Morin, 2001b). A propósito, podemos afirmar que os indivíduos geram a sociedade, mas ao mesmo tempo sabemos que a sociedade gera os indivíduos enquanto seres sociais, enquanto pessoas que manifestam em si padrões de pensamento e de comportamento socialmente consagrados.

Destacamos, por fim, o “princípio hologramático”, correspondente à ideia de que o todo está nas partes e as partes estão no todo (Morin, 2001b). O homem é membro da sociedade, e, ao mesmo tempo, a sociedade, por conta de suas regras e/ou de seus padrões de pensamento e de comportamento, está dentro de cada um de seus integrantes.

## A reforma do pensamento no século XXI

Malgrado o progresso científico e tecnológico propiciado ao longo dos últimos quatrocentos anos pela *modernidade*, que é chamada por Morin (2001b; 2002c) de paradigma da simplificação, a crença correlata na “fragmentação com vistas à compreensão” trouxe muitas consequências discutíveis. Com efeito, tendemos a não perceber as relações que existem ou que podem ser construídas entre, por exemplo, ciências, matemática, tecnologia, ética, estética, política, economia, sociedade, saúde e meio ambiente.

Todavia, algumas conclusões científicas e filosóficas a que temos chegado no transcurso dos últimos decênios em favor da existência da união ou interação e da indeterminação ou criatividade são indicativas do surgimento de um modelo de pensamento fundamentado em princípios contrários aos da simplificação, modelo esse que tem recebido, da parte de

alguns, a alcunha de “paradigma da complexidade” ou, genericamente, de “paradigma emergente”, ao qual estão integradas as noções de transversalidade, de interdisciplinaridade, de contextualização e de transdisciplinaridade.

Morin (2002a) declara que a reforma do pensamento rumo à consciência acerca da complexidade do mundo demanda a adoção de sete saberes, segundo ele, necessários à educação do futuro, quais sejam:

- As cegueiras do conhecimento (erro e ilusão):
- Devemos ter ciência das limitações psicológicas, neurológicas, biológicas, sensoriais, culturais, sociais, etc., que conduzem o homem ao conhecimento errado e/ou ilusório. O ato cognitivo é passível de falhas, e isso não pode ser desconsiderado. É necessário “conhecer o conhecimento”.

O conhecimento pertinente:

Temos que construir relações entre os saberes, entre as disciplinas, entre as áreas do conhecimento e/ou entre as partes (bem como entre o todo e as partes), a fim de que a cognição possa distanciar-se menos da complexidade dos objetos estudados.

- A compreensão da condição humana:

O homem não pode desconsiderar os vários níveis que o integram, os quais, isolados, não dão conta de explicá-lo. O ser humano é, ao mesmo tempo, um sistema físico, biológico, químico, antropológico e sociológico, entre outros. São contextos distintos e complementares, imprescindíveis (sempre conjuntamente) para se tentar explicar a complexidade humana.

- A compreensão das incertezas:

Além da “ordem”, impera no universo a “desordem”. Com efeito, ordem e desordem interagem de modo permanente. As estruturas organizacionais da natureza resultam dessa interação. “Nosso universo é feito de uma liga, de uma aliança entre ordem e desordem que se contradizem absolutamente” (Morin, 2002b, p. 54). O indeterminismo não pode ser desprezado. O que parecia inevitável, muitas vezes não se concretiza, e o inesperado com frequência bate à porta. A natureza é um mar de incertezas pontilhado por algumas ilhas de certezas (Morin, 2002a). Urge que aprendamos a conviver com a incerteza, com o indeterminismo.

- O exercício da compreensão:

Somente o espírito de compreensão e solidariedade poderá minorar a crise que a humanidade atravessa neste início de milênio. União na distinção e distinção na união são imprescindíveis em um mundo constantemente ameaçado pela iminência de uma guerra nuclear, em um mundo marcado pela xenofobia, pelo racismo, pela intolerância religiosa

e/ou cultural, pela exploração socioeconômica, pela manutenção de países “periféricos” em patamar de subordinação relativamente a nações ricas, etc.

- O entendimento da ética do gênero humano:

O homem é, a um só tempo, indivíduo, membro da (de uma) sociedade e integrante da (de uma) espécie. Qualquer formulação de cunho ético, qualquer prescrição relativa à adoção de valores e padrões de comportamento há que levar em conta esse tríplice aspecto, correspondente aos níveis antropológico, sociológico e biológico, que são distintos e inseparáveis.

- O cultivo da identidade terrena:

O homem não é apenas cidadão de uma metrópole, de uma região ou de um país. A humanidade não deve esquecer que habita uma “morada maior”, da qual depende, a qual depende dela. Trata-se do Planeta Terra, trata-se da “Terra-Pátria”, que acolhe, mas que também sofre com os desmandos sociais, econômicos e ecológicos de seus “hóspedes”, sofrimento esse que pode, inclusive, colocar em risco a existência dos que nela se encontram. Urge que cultivemos um sentimento mais acurado quanto à manutenção/preservação de nossa Morada Maior, sob pena de não existir mais morada, sob pena de não mais haver existência.

## A modelagem matemática e a nova pedagogia

A modelagem e o método experimental valem-se de ações em comum, a exemplo da hipotetização e da verificação. Conforme Japiassú e Marcondes, o método experimental é “[...] aquele que tem por base a realização de experimentos para o estabelecimento de teorias científicas, procedendo através da observação, da formulação de hipóteses e da verificação ou confirmação das hipóteses a partir de experimentos. É valorizado, sobretudo, nas concepções empiristas” (Japiassú; Marcondes, 1996, p.182).

A modelagem pode ser útil para a consecução de um ensino e de uma aprendizagem de ciências e matemática em sintonia com o paradigma ora emergente, o que apenas depende *de ser e da maneira como for* utilizada no contexto pedagógico, devendo essa *maneira*, para tanto, mostrar-se enfática no que tange à adoção de posturas conscientemente criativas e contextualizadoras/associacionistas perante o problema ou o tema com que estivermos trabalhando, posturas essas cuja ausência pode redundar no fortalecimento da visão determinista e da crença quanto à separação entre sujeito (vide razão) e objeto (vide experiência sensível), ou seja, cuja ausência pode acarretar a ênfase no paradigma moderno e nas suas deficiências.

Anastácio refere-se a eventuais trabalhos com modelagem, no processo de ensino-aprendizagem, influenciados ainda hoje por aspectos do paradigma moderno. Segundo essa autora:

A concepção de conhecimento presente no desenvolvimento da modelagem se insere no conhecimento desenvolvido no Ocidente por meio da constituição da ciência Moderna com a contribuição da Matemática. Os métodos e procedimentos da Modelagem originam-se nas idéias de Galileu e Descartes e assumem uma concepção de realidade como algo em si, que apesar de sua complexidade, é possível de ser traduzida na linguagem matemática. As conseqüências destas concepções ao se desenvolver um trabalho com modelagem na escola pode implicar na constituição de uma idéia de matemática como algo presente na realidade. Quando se pergunta pela matemática que se pode ter ao observar um determinado fato, ressalta-se este caráter de imanência da matemática na realidade. Reforça-se a concepção pitagórica e pode-se chegar a defender que a matemática está em tudo e sem ela vive-se o caos e o vazio [...] (Anastácio<sup>3</sup>, 2007, p. 31).

Ainda se atendo ao binômio realidade-matemática, Anastácio afirma que:

Ao apresentar minhas reflexões acerca das concepções de matemática e de realidade que se apresentam no trabalho com a Modelagem, não tenho a intenção de criticar ou colocar por terra todo o trabalho que vem sendo desenvolvido nos diversos âmbitos escolares. Tampouco pretendo esgotar a temática realidade/conhecimento matemático. Quero, no entanto, convidar os que trabalham com a Modelagem Matemática e a utilizam em suas aulas a refletirem sobre as concepções que adotam [...] (Anastácio, 2007, p. 33).

Trata-se a modelagem, assim acreditamos, de processo em que se intenciona representar explicitamente determinado objeto, fenômeno ou evento. Em um contexto de

<sup>3</sup> Tal citação nos interessou não propriamente devido à perspectiva fenomenológica adotada pela autora, perspectiva que é notada mais explicitamente em outras partes do seu artigo/texto, mas pelo fato de Anastácio declarar a possibilidade de haver, no âmbito pedagógico, trabalhos com modelagem ainda pautados no paradigma moderno, declaração que apoiamos. Entendemos que, com essa afirmação, a autora coloca sob suspeição a hipótese de que, na seara escolar, a modelagem, em qualquer de suas formas de manifestação, sempre é e tem sido concordante com alguns dos pensamentos emergentes e alternativos à epistemologia da modernidade.

rigor e sistematização, isso tende a ser realizado através da ênfase na emissão de hipóteses explicativas e através da ênfase na respectiva tentativa de verificação.

Quando, no processo em que tentamos obter um modelo, fazemos apelo em larga escala ao ferramental matemático, temos a chamada “modelagem matemática”. Expressões numéricas ou algébricas, figuras geométricas e diagramas/gráficos são alguns exemplos de “modelos matemáticos”, cujo grau de representatividade é diretamente proporcional ao amadurecimento matemático do modelador. “Chamaremos simplesmente de Modelo Matemático um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam de alguma forma o objeto estudado” (Bassanezi, 2002, p. 20).

É possível, assim entendemos, coadunar a modelagem matemática com o espírito de interação e de criatividade da epistemologia emergente. Configura-se como um convite à transversalidade, à interdisciplinaridade, à contextualização e, em âmbito mais abrangente, à transdisciplinaridade, aspectos que, na seara da aprendizagem de ciências e matemática, tendem a constituir-se em fonte de motivação discente, haja vista contemplarem a construção de conceitos científicos a partir do estabelecimento de relações com conceitos, temas e/ou contextos que os alunos já dominam.

Diversos trabalhos apresentados em encontros e simpósios, a exemplo das contribuições de Levy e Espírito Santo (2008a, 2008b e 2009) – relativas a pesquisas em escolas públicas de nível médio –, descrevem possibilidades efetivas de conjunção entre “modelagem matemática no ensino” e “reflexões discentes acerca de paradigmas epistemológicos”, com destaque, na seara paradigmática, ao ideário da complexidade.

### Estabelecendo relações

Considerando a modelagem matemática no ensino e na aprendizagem através da ótica do paradigma da complexidade, teremos:

Princípio sistêmico ou organizacional (teoria dos sistemas)

A modelagem como um todo dá margem ou diz respeito a propriedades emergentes, a exemplo do modelo do objeto de estudo, as quais não se manifestam na soma ou junção desarticulada das partes ou processos que a compõem (o todo é maior do que a soma das partes). Em contrapartida, cada uma dessas partes, ao integrar a modelagem, tem algumas de suas características inibidas. Por exemplo, há pormenores culturais e/ou socioeconômicos, além de dificuldades discentes de aprendizagem, que, embora compo-nham a dinâmica da modelagem (na medida em que são intrínsecos aos modeladores), não são inteiramente desnudados quando se está diante do processo e/ou do produto da modelagem (a soma das partes é maior do que o todo).



- Princípio dialógico

Na modelagem matemática associada à consciência acerca da epistemologia da complexidade, admitem-se antagonismos complementares, a exemplo de: objeto x conhecimento, objeto x sujeito, sujeito x conhecimento, professor x aluno/turma, concreto x abstrato, todo x partes.

- Princípio hologramático

O desenvolvimento do conteúdo (por vezes programático) faz parte da modelagem. A seu turno, a modelagem impregna o desenvolvimento do conteúdo (por vezes programático) na medida em que tal desenvolvimento, durante a modelagem, é repleto da intenção de representar o tema/objeto.

Outro exemplo é a escolha do tema, que é processo componente da modelagem, da mesma forma que esta, por sua vez, está presente na escolha do tema. Quando dessa escolha, professor/orientador e aluno/modelador têm consciência de que são (estão sendo) partícipes de uma dinâmica que se distingue de outros processos, a exemplo do ensino-aprendizagem convencional/tradicional, e tal consciência impregna a referida escolha.

- Princípio da recursão

Conhecimentos sobre o tema, construídos pelos alunos anteriormente ao processo da modelagem, ajudam na elaboração de novos conhecimentos (originados durante a modelagem), os quais, por sua vez, contribuem para gerar novas visões ou concepções a respeito do tema e dos conhecimentos que antes os alunos detinham.

- Princípio de autonomia-dependência

Para ser autônomo quanto à modelagem e/ou à produção de modelos, o aluno depende previamente da orientação do professor, da participação dos demais colegas no processo, bem como da internalização de construções culturais elaboradas historicamente por outros indivíduos e sociedades.

## Os sete saberes e a modelagem matemática

Considerando a modelagem matemática no processo de ensino-aprendizagem sob a ótica dos “sete saberes morinianos necessários à educação do futuro”, teremos:

- As cegueiras do conhecimento: o erro e a ilusão

O processo e o produto da modelagem não são incontestáveis, definitivos ou livres de erros. Isso por causa de influências como a da subjetividade, a dos órgãos sensoriais, a do cérebro e do sistema nervoso, a do aspecto psicológico, a do aspecto cultural e/ou a do paradigma epistemológico dominante, entre outras.

Por oportuno, ratificamos que a emissão e o teste de hipóteses são atividades que integram o processo de modelagem. As hipóteses, tendo em vista o modelo, podem ser validadas ou não, sendo que os critérios de validação e as concepções acerca de tentativa e de erro, bem como a enunciação de hipóteses e a própria modelagem que abrange tal enunciação, são criações humanas, culturais e/ou paradigmáticas, portanto, passíveis de questionamentos e de transformações.

- Os princípios do conhecimento pertinente

No processo e no produto da modelagem, temos que levar em conta as interações cognitivas, o que abrange associações entre particularidades, bem como associações entre particularidades e totalidades. A complexidade do objeto estudado exige uma postura contextualizadora, transversal, interdisciplinar e, em escala mais ampla, transdisciplinar, a fim de que a modelagem e o seu resultado (o modelo, quando obtido) digam respeito a processo e produto os menos distantes possíveis desse objeto.

- Ensinar a condição humana

A condição humana comporta múltiplos aspectos: o biológico, o social, o político, o religioso, etc. Todos esses contextos compõem e influenciam os alunos/modeladores e o professor/orientador. Os contextos que estão presentes no homem também estarão presentes nos processos e nos produtos humanos. A condição humana, com suas múltiplas faces, estará presente, por exemplo, no processo e no produto da modelagem. É preciso que os estudantes adquiram essa consciência.

- A ética do gênero humano

O homem é um *indivíduo*, integra uma *sociedade* e compõe uma *espécie*. A ética humana há que considerar esses três aspectos. O processo e o produto da modelagem, tendo o homem (aluno/modelador e professor/orientador) como sujeito, estão, pois, impregnados dessas três dimensões. É preciso que percebamos essas três dimensões éticas no indivíduo/sujeito, bem como no processo e no produto do seu pensar e do seu fazer, incluso o pensar-fazer no âmbito da modelagem matemática.

- Enfrentar as incertezas

As situações e/ou os objetos de estudo são complexos, trazendo em si distinção e união, ordem e desordem. O modelador há que considerar esses aspectos. O universo é um mar de incertezas (desordem) pontilhado por algumas ilhas de certezas (ordem) (Morin, 2002a). É preciso que saibamos disso quando do processo de modelagem. O modelador tem que considerar o elemento incerteza, tem que considerar os limites de representação do seu modelo.

- Ensinar a compreensão

Temos que reconhecer e fomentar a compreensão e a solidariedade durante o processo de modelagem. Compreensão e solidariedade inerentes ao trabalho em conjunto, inerentes à orientação docente, inerentes ao aproveitamento de ideias concebidas originalmente por outras pessoas, sejam elas ou não pessoas de outras épocas e/ou de outros locais. Temos que reconhecer e fomentar também a compreensão e a solidariedade na vida além da escola, inclusive a partir dos conhecimentos e dos comportamentos engenhados dentro desta. A compreensão e a solidariedade são características do paradigma da complexidade, o qual se opõe à fragmentação, que é típica do pensamento moderno.

- Ensinar a identidade terrena

A crise ambiental e sua articulação retro-alimentadora com a pobreza, a violência organizada e as migrações compulsivas mostram claramente que o fenômeno capital de nosso tempo, denominado “globalização”, é um fenômeno que contém ingredientes autodestrutivos, mas, ao mesmo tempo, contém também os ingredientes que podem mobilizar a humanidade para a busca de soluções planetárias baseadas na necessidade de uma antropolítica.

A política do homem ou a antropolítica progredirá com o impulso da segunda mundialização, reunindo e organizando todos aqueles movimentos de cidadãos que, mesmo de culturas diferentes, compartilham da vivência comum do planeta, entendido como a casa de todos. Conservando as conquistas da civilização técnica, reagem contra os efeitos de uma civilização reduzida ao quantitativo, ao dinheiro, ao prosaico e ao agressivo (Morin; Ciurana; Motta, 2003, p. 88).

Durante a construção de conhecimentos, incluso o *conhecimento do conhecimento*, não se pode perder de vista a formação do cidadão, inclusive a formação do *cidadão planetário*. O caráter potencialmente contextualizador da *modelagem matemática no processo de ensino-aprendizagem* favorece a ideia de que *tudo se liga a tudo*. No sentido da defesa da interação/associação/contextualização, “a união planetária é a exigência racional mínima de um mundo encolhido e interdependente. Tal união pede a consciência e um sentimento de pertencimento mútuo que nos una à nossa Terra, considerada como primeira e última pátria” (Morin, 2002a, p. 75-76).

### Considerações finais

Em que pese, mesmo nos dias atuais, o predomínio da epistemologia fragmentadora e determinista da modernidade, inclusive na seara do ensino e da aprendizagem de ciências

e matemática, observamos que as deficiências e as limitações da referida epistemologia, aliadas às conclusões a que se tem chegado a propósito da união ou interação e da criatividade afeta à indeterminação, têm conduzido um número crescente de pessoas, entre elas diversos membros da comunidade científica/matemática, a defenderem a emergência de um novo paradigma, pautado por *distinção, união e incerteza/indeterminismo*. A propósito, o indeterminismo apregoado pela complexidade moriniana opõe-se ao determinismo clássico, mas não implica a sua eliminação. Determinismo e indeterminismo, na concepção complexa, contrapõem-se e, ao mesmo tempo, complementam-se, o que é indicado pelo tetragrama complexo formado, segundo Morin (2001b), por ordem-desordem-organização-interação.

No contexto pedagógico inerente às ciências e à matemática, as atividades em que se utiliza o método experimental de pesquisa (vide investigações protagonizadas por alunos e orientadas por professores), composto basicamente por “tema, problema, hipóteses explicativas e teste/verificação”, se acrescidas da consciência de criatividade/criticidade/indeterminação e de interação/contextualização, constituem-se em ações irmanadas com o padrão emergente de pensamento. No ensino e na aprendizagem de ciências e matemática, a modelagem, que guarda ligações com a investigação experimental, uma vez acrescida dos princípios defendidos ao longo deste artigo, ou seja, uma vez levada a efeito mediante o subsídio da concepção de interação/contextualização e de criatividade/criticidade/indeterminação, tenderá a identificar-se com o padrão epistemológico que ora emerge.

### Referências bibliográficas

- ANASTÁCIO, M. Q. A. Concepções de matemática e de realidade no processo de modelagem matemática: alguns apontamentos (Debate Temático – DTB1 – Aspectos Epistemológicos de Modelagem Matemática). In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE MODELAGEM NA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 5., 2007, Ouro Preto, Minas Gerais. Anais... p. 24-34.
- BASSANEZI, R. C. *Ensino-aprendizagem com modelagem matemática*. São Paulo: Contexto, 2002.
- JAPIASSÚ, H.; MARCONDES, D. *Dicionário básico de filosofia*, 3. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1996.
- LEVY, L. F.; ESPÍRITO SANTO, A. O. Conhecendo o conhecimento utilizado em modelagem. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PESQUISAS EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 2., 2008, Recife, Pernambuco, Brasil. Anais..., 2008a.

- LEVY, L. F.; ESPÍRITO SANTO, A. O. Conjugando, na modelagem matemática, o tema “religião” e alguns debates paradigmáticos. In: ENCONTRO PARANAENSE DE MODELAGEM NA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 3., 2008, Guarapuava, Paraná. *Anais...*, 2008b.
- LEVY, L. F.; ESPÍRITO SANTO, A. O. Trabalhando com modelagem, paradigmas epistemológicos e o tema “aquecimento global”. In: ENCONTRO PARAENSE DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 6., 2009, Belém, Pará. *Anais...*, 2009.
- MORIN, E. A epistemologia da complexidade. In: MORIN, E.; LE MOIGNE, J. L. *A inteligência da complexidade*. 2. ed. São Paulo: Fundação Peirópolis, 2001a. p. 43-137.
- MORIN, E. *Ciência com consciência*. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001b.
- MORIN, E. Os sete saberes necessários à educação do futuro. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2002a.
- MORIN, E. *Edgar Morin: ninguém sabe o dia que nascerá*. São Paulo: UNESP; Belém: UEPA, 2002b. Entrevista concedida a Edmond Blattchen.
- MORIN, E. Educação e complexidade: os sete saberes e outros ensaios. In: ALMEIDA, M. C. de; CARVALHO, E. A. (Org.). *Edgar Morin*. São Paulo: Cortez, 2002c. p. 11-102.
- MORIN, E.; CIURANA, E-R.; MOTTA, R. D. *Educar na era planetária: o pensamento complexo como método de aprendizagem pelo erro e incerteza humana*. São Paulo: Cortez; Brasília, Distrito Federal: UNESCO, 2003.
- NUSSENZVEIG, H. M. Introdução à complexidade. In: NUSSENZVEIG, H. M. (Org.). *Complexidade e caos*. Rio de Janeiro: UFRJ; COPEA, 1999.
- PETRAGLIA, I. C. *Edgar Morin: a educação e a complexidade do ser e do saber*. 7. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2002. 115p.
- PRIGOGINE, I. *O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza*, São Paulo: UNESP, 1996.
- PRIGOGINE, I. *Ilya Prigogine: do ser ao devir*. São Paulo: UNESP; Belém, PA: EDUEPA, 2002. (Coleção Nomes de deuses). Entrevista concedida a Edmond Blattchen, Liège, Bélgica, 1997.

*Recebido em 15/12/2009 e aprovado em 12/05/2011*