

COMPLEXIDADE E MODELAGEM MATEMÁTICA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

*Lênio Fernandes Levy**
*Adílson Oliveira do Espírito Santo***

RESUMO

O presente texto diz respeito a uma investigação em nível teórico que acenou com a possibilidade de conjugarem-se intencionalmente, no processo de ensino-aprendizagem, a modelagem matemática e a concepção epistemológica acerca da complexidade. A concepção de complexidade que norteou este trabalho baseou-se no corpo de idéias do filósofo, historiador, antropólogo e sociólogo francês Edgar Morin. Por sua vez, quanto à modelagem, à modelagem matemática e à modelagem matemática no processo de ensino-aprendizagem, levaram-se em consideração várias idéias dos autores brasileiros Rodney Carlos Bassanezi, Maria Salett Biembengut e Nelson Hein.

Palavras-chave: Modelagem matemática. Complexidade. Ensino-aprendizagem.

COMPLEXITY AND MATHEMATICAL MODELING IN THE TEACHING-LEARNING PROCESS

ABSTRACT

The present text tells respect the an investigation in theoretical level that it waived with the possibility of conjugate it, intentionally, in the teaching-learning process, the mathematical modeling and the epistemological conception concerning the complexity. The complexity conception that orientated this work based on the body of the philosopher's ideas, historian, anthropologist and French sociologist Edgar Morin. For it time, as for the modeling, the mathematical modeling and to the mathematical modeling in the teaching-learning process, it were taken into the Brazilian authors' account several ideas Rodney Carlos Bassanezi, Maria Salett Biembengut and Nelson Hein.

keyword: *Mathematical modeling. Complexity. Teaching-learning.*

* Professor Mestre da Universidade Federal do Pará - UFPA - leniolevy@ufpa.br

** Professor Doutor da Universidade Federal do Pará - UFPA - adilson@ufpa.br

MORIN E A COMPLEXIDADE

O paradigma moderno ganhou corpo a partir do afã de reação à influência religiosa sobre a produção científica. A Igreja, de um lado, fazia imposições: “Não vá pesquisar nessa direção, pois isso já está escrito em Aristóteles e a teologia integrou Aristóteles. Nós já temos a visão do mundo” (MORIN, 2001a, p.27). De outro lado, a concepção moderna, emergente naquela época, amparava-se na justificativa de que citada interferência estaria atravancando a expansão intelectual do homem, afastando-o da objetividade.

Embora as práticas cognitivas marcadas pela tentativa de separação e de ordenação com vistas à melhor compreensão dos problemas e dos fenômenos tenham sido concebidas em épocas mais remotas, é certo afirmar que, a partir da chamada Idade Moderna, cujo início coincidiu com o renascimento da cultura greco-romana, houve pungente valorização da postura fragmentadora e determinista, da qual René Descartes foi um dos baluartes. Os progressos advindos do racionalismo cartesiano mostraram-se imediatos e vastos, abonando-o como corrente filosófica.

Cabe frisar, contudo, que o estudo de qualquer evento implica a geração de influências ou interferências, sejam elas do sujeito ou observador sobre o objeto, sejam elas do somatório dos contextos presentes, o que inclui o objeto em foco, sobre o estudioso ou cientista, de tal sorte que não se pode conceber separação, nos termos propostos por Descartes, entre *ego cogitans* e *res extensa*. Toda tentativa de redução ou fragmentação da complexidade da natureza, malgrado os relativos progressos científicos que isso possa suscitar, não diz respeito à proximidade de uma visão aceitável dos objetos estudados. A análise laboriosa das partes é fundamental, mas corresponde ao trato de apenas um dos aspectos da realidade, sendo também necessária a consciência de que há vínculos entre os diversos elementos que se integram ao todo. Conforme assevera Morin, “É preciso juntar as partes ao todo, e o todo às partes” (2002a, p.13). Com o escopo de ratificar essa idéia, Silva lembra que:

Edgar Morin gosta de citar uma passagem de Pascal: “Sendo todas as coisas causadas e causantes, auxiliadas e auxiliantes, mediatas e imediatas, e mantendo-se todas elas por meio de um vínculo natural e insensível, que une as mais afastadas e as mais diferentes, julgo impossível conhecer as partes sem conhecer o todo, assim como conhecer o todo sem conhecer particularmente as partes”. Essa reflexão densa serve-lhe de base para a fundamentação da epistemologia da complexidade. Exposições e entrevistas mais longas levam-no quase sempre a recorrer a essa chave de seu pensamento (SILVA, 2002, p.93).

A ênfase desmedida da distinção sem união, particularmente no que tange à tentativa de separação entre sujeito e objeto do conhecimento, em detrimento à procura de uma visão de união e de totalidade, acarretou nos últimos séculos uma consciência empobrecida acerca da natureza.

O diálogo das singularidades que compõem uma totalidade, a exemplo daquele entre sujeito e objeto, é recorrente no ideário moriniano, equivalendo à tríade distinção-união. A complexidade da natureza é expressa em termos das múltiplas relações entre os elementos que a constituem, assim como das conexões entre esses elementos e o/um todo, fato que denota uma infinidade de desdobramentos possíveis, justificando-se o acréscimo do fator incerteza ao binômio distinção-união. Morin & Kern referindo-se à conjuntura de nosso planeta, o que é extensivo ao universo como um todo, haja vista o princípio complexo hologramático¹, afirmam que:

A realidade mundial é justamente inapreensível; ela comporta enormes incertezas devidas à sua complexidade, às suas flutuações, a seus dinamismos mesclados e antagônicos, às suas bifurcações inesperadas, às suas possibilidades que parecem impossíveis e às suas impossibilidades que parecem possíveis. A inapreensibilidade da realidade global retroage sobre as partes singulares, uma vez que o devir das partes depende do devir do todo (MORIN & KERN, 2002, p.133-4).

Além do mais, qualquer tentativa de hierarquização é improcedente. Edgar Morin apregoa a valorização, na mesma medida, dos diversos elementos pertencentes a um conjunto, destacando, além do mais, haver vínculos entre todas as singularidades, sendo artificial, por exemplo, a já mencionada crença na separação entre sujeito e objeto do conhecimento, o que também é defendido por Betto:

Se um elétron se apresenta ora como onda, ora como partícula, energia e matéria, Yin e Yang, isso significa que cessa o reino da objetividade. Há uma inter-relação entre o observador e o observado. Desmorona-se, assim, o dogma da imaculada neutralidade científica. A natureza responde às questões que levantamos. A consciência do observador influi na definição e, até mesmo, na existência do objeto observado. Entre os dois, reina um único e mesmo sistema. Olho o olho que me olha.

[...] Há uma íntima e indestrutível conexão entre tudo o que existe, das estrelas ao sorvete saboreado por uma criança, dos neurônios de nosso cérebro aos neutrinos no interior do sol (BETTO, 2002, p.45-46).

A tríade distinção-união-incerteza é inerente ao chamado tetragrama complexo, traduzido por ordem-desordem-interação-organização. A existência concomitante de ordem e desordem é condição *sine qua non* para qualquer espécie de criação. Nada aconteceria, não haveria transformações, somente imutabilidade, caso apenas a ordem imperasse. Da mesma forma, se unicamente a desordem se manifestasse, o próprio universo careceria de condições favoráveis para se desenvolver. Assim sendo, o diálogo incessante entre ordem e desordem propicia a estruturação dos incontáveis elementos e subconjuntos organizacionais que compõem a natureza. Lima assevera que:

¹ O todo está nas partes e as partes estão no todo (MORIN, 2002a).

[...] A ordem e a desordem não subsistem sozinhas, interagem entre si. A desordem está sempre presente, como elemento perturbador, na ordem. Por sua vez, a ordem pressupõe um certo grau de desorganização. Portanto, uma visão mais complexa de ordem implica uma interação com a desordem, e qualquer desordem supõe um grau de organização. Esses quatro elementos: ordem, desordem, interação e organização possibilitam uma compreensão mais complexa das várias realidades do Universo (LIMA, 2002, p.52).

Prigogine (1996), no que tange à questão do indeterminismo, afirma com alegria que, diante dos sistemas dinâmicos mais realistas, o “demônio de Laplace” permanece incapaz, seja qual for o seu conhecimento, finito ou até infinito, e que o futuro não é mais dado, tornando-se, como havia dito o poeta Paul Valéry, uma construção.

[...] 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).

Tanto o acaso puro, repudiado por Einstein, que disse em certa ocasião que Deus não joga dados (PRIGOGINE, 1996), quanto o determinismo significam negação da realidade. Weber, em tom esclarecedor relativamente ao uso da expressão “aleatório” dos textos de Prigogine, assevera que:

Prigogine utiliza esse termo de maneira diferente da de outros cientistas [...].

Para Jacques Monod (Chance and necessity), por exemplo, o conceito de aleatório supõe um mundo governado pela casualidade cega, que aponta para um universo carente de sentido em termos humanos, próximo ao mundo “absurdo” dos filósofos existencialistas, em que Monod apóia seus argumentos.

Mas, para Prigogine, aleatório é sinônimo de não-determinado, espontâneo, novo: numa palavra, criativo (WEBER, 1997, p.225).

Segundo o próprio Prigogine (1996), deve-se construir, no que tange ao determinismo das leis naturais e ao acaso, os quais levam igualmente à alienação, um caminho estreito entre ambos.

Ainda no que diz respeito à questão do indeterminismo prigoginiano, 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 por um caminho do que pelo outro (MORIN, 2002b, p.94).

Entendemos, outrossim, ser conveniente divulgar um depoimento poético de Prigogine acerca da maravilha da complexidade:

O universo parece ter algum parentesco com as Mil e Uma Noites, no qual Shehrazade narra estórias encravadas umas nas outras; há a cosmologia, a história da natureza encravada na cosmologia, a vida na matéria, as sociedades humanas como parte da história da vida (PRIGOGINE, 2001, p.34).

Os que prezam a criatividade, enfim, agradecem!

O ideário filosófico complexo de Edgar Morin prega a distinção, a individualização. Busca, ao mesmo tempo, a sensibilização quanto à união, quanto à relação entre partes distintas do (ou de um) todo. Admite, também, a incerteza, a criatividade. Distinção, união e incerteza/criatividade são, portanto, palavras essenciais na teoria complexa moriniana. Conforme Petraglia:

[...] Os limites e as insuficiências de um pensamento simplificador não exprimem as idéias de unidade e diversidade presentes no todo. A estrutura do pensamento Moriniano é pautada numa epistemologia da complexidade que compreende quantidades de unidades, interações diversas e adversas, incertezas, indeterminações e fenômenos aleatórios (PETRAGLIA, 2002, p.39-40).

O princípio da simplificação corresponde a separar e a reduzir. O princípio da complexidade preconiza reunir e ao mesmo tempo distinguir. O pensamento que separa tem que ser complementado pelo pensamento que une.

Morin propõe, conforme já frisamos, o tetragrama ordem–desordem–interações–organização, que se identifica com a tríade distinção–união–incerteza. Petraglia explica-nos que:

[...] Entretanto, não basta a comunicação dos termos ordem e desordem, é preciso que tenhamos clareza da necessidade de sua aproximação a outras idéias como interação e organização, num tetragrama, a fim de não perdermos de vista a complexidade do mundo e sua perspectiva multidimensional (PETRAGLIA, 2002, p.56).

A ação do tetragrama é bem evidenciada pelo próprio Morin quando assegura que a vida é um exemplo de ordem que tem necessidade de se auto-produzir através da organização, tolerando ou mesmo colaborando com a desordem (MORIN, 2001b).

O pensamento complexo é condizente com a chamada teoria dos sistemas, segundo a qual o todo é, ao mesmo tempo, maior e menor do que a soma das partes. A tapeçaria, por exemplo, transmite ou significa algo mais do que a simples soma de seus fios. Porém, concomitantemente, cada fio tem algumas de suas qualidades inibidas quando é unido aos demais para compô-la (PETRAGLIA, 2002). Além disso, a complexidade preza o princípio dialógico, ou seja, admite a união ou compatibilização de noções antagônicas, que aparentemente deveriam repelir uma à outra (MORIN, 2002a), a exemplo das partículas físicas, que são, ao mesmo tempo, corpúsculos e ondas, constituindo-se em uma contradição não-absurda. Há também o princípio da recursão, denotativo da ideia de circularidade entre causa e efeito, e que é bem ilustrado pelo seguinte fato: Os indivíduos humanos produzem a sociedade, e a sociedade, por sua vez, produz a humanidade dos indivíduos. Destacamos, por fim, o princípio hologramático, já mencionado em linhas anteriores, o qual corresponde à ideia de que o todo está nas partes e as partes estão no todo. O indivíduo, a propósito, é uma parte da sociedade, mas a sociedade também está presente em cada indivíduo por intermédio de sua linguagem, de sua cultura, de suas normas etc. (MORIN, 2002a).

O objetivo da complexidade é, ao mesmo tempo, unir e enfrentar o desafio da incerteza. O pensamento complexo, embora oposto ao pensamento simplificador, não o exclui. A complexidade busca suprir as insuficiências da modernidade. O aumento contínuo do conhecimento humano exige que a especialização seja complementada pela construção de relações entre os elementos desse conjunto, entre os constituintes desse todo que, por sua vez, deixa-nos, se vislumbrado, menos distantes da realidade da natureza.

Legislar, disjuntar, reduzir – esses são os princípios fundamentais do pensamento clássico. Não se trata absolutamente, do meu ponto de vista, de decretar que esses princípios sejam doravante abolidos. Mas as práticas clássicas do conhecimento são insuficientes. No momento em que a ciência de inspiração cartesiana ia muito logicamente do complexo ao simples, o pensamento científico contemporâneo tenta ler a complexidade do real sob a aparência simples dos fenômenos. De fato, não existe fenômeno simples (MORIN, 2001b, p.45).

Do ponto de vista moriniano, o pensamento baseado na transdisciplinaridade conduz a um entendimento menos distante da complexidade dos objetos estudados, ou seja, a geração de elos entre os conhecimentos, bem como de liames entre eles e a/ uma totalidade cognitiva, insere o homem na esteira do que ocorre à sua volta. Os conhecimentos imbuídos de transdisciplinaridade dizem respeito a um vislumbre menos opaco do que se processa no mundo.

No âmbito educacional, torna-se imperioso elaborar-se tais relações. Entendemos, contudo, que a construção de vínculos entre os campos de conhecimento

não acarreta necessariamente o desaparecimento das disciplinas correspondentes, o que é corroborado pela ideia complexa de união com preservação das distinções, pela ideia de coexistência do todo e das partes. Nesse sentido, ressaltamos os seguintes dizeres de Morin:

Precisamos, portanto, para promover uma nova transdisciplinaridade, de um paradigma que, decerto, permite distinguir, separar, opor e, portanto, dividir relativamente esses domínios científicos, mas que possa fazê-los se comunicarem sem operar a redução. O paradigma que denomino simplificação (redução/separação) é insuficiente e mutilante. É preciso um paradigma de complexidade, que, ao mesmo tempo, separe e associe, que conceba os níveis de emergência da realidade sem os reduzir às unidades elementares e às leis gerais (MORIN, 2001c, p.138).

Trata-se, então, de serem admitidas as singularidades e as suas respectivas conexões, o que entendemos ser compatível, na seara pedagógica, por exemplo, com o ministério de aulas por duplas de professores formados em disciplinas diferentes, ocupantes, tais profissionais, para tanto, do mesmo espaço-tempo pedagógico, agindo, em conjunto como o corpo discente, como desencadeadores de processos que levem à criação de laços entre seus respectivos campos de estudo e que conduzam também à tentativa de elaboração de uma consciência global. O diálogo entre docentes que detêm informações diferenciadas não acarreta necessariamente o desaparecimento das especificidades inerentes às suas áreas, propiciando, com efeito, vários elos recíprocos, constituindo-se em processo conciliador de distinção e união. Vale, por oportuno, ressaltar o ponto de vista de Almeida:

Esse movimento de desconstrução, do que foi historicamente firmado como verdadeiras cartas de habilitação por áreas temáticas do conhecimento, tem aqui o objetivo de enfraquecer as resistências disciplinares que se instalam nos tênues limites entre as ciências. Não decorre, daí, nenhuma palavra de ordem de “fim às disciplinas”, mas decorre, sim, o alerta de que a disciplinaridade fechada reduz e simplifica a complexidade inerente a qualquer temática (ALMEIDA, 2002, p.37).

As ações pedagógicas a cargo de Duplas Heterogêneas de Professores (DHP)² conjugam-se, assim entendemos, com os princípios morinianos porque visam, nos termos em que as propomos, à transcendência ou ultrapassagem do isolamento disciplinar sem, todavia, objetivar necessariamente à eliminação das disciplinas. Possibilitam a comunhão entre inúmeros conhecimentos que compõem a nossa cultura, distanciando-nos menos, por conseguinte, do vislumbre da complexidade da natureza.

² Vide Levy (2003).

Enfim, segundo Morin:

Não se trata de abandonar o conhecimento das partes pelo conhecimento das totalidades, nem da análise pela síntese; é preciso conjugá-las. Existem desafios da complexidade com os quais os desenvolvimentos próprios de nossa era planetária nos confrontam inelutavelmente (MORIN, 2002c, p.46).

A teoria filosófica da complexidade e o ensino-aprendizagem de ciências e matemática via modelagem matemática: **atravessando-se paradigmas**

O método de pesquisa experimental, alicerce do empirismo modernista, quando acrescido da concepção de criatividade inerente à indeterminação, bem como da visão de interação entre sujeito e objeto, entre sujeito e conhecimento, entre objeto e conhecimento, entre sujeitos distintos, entre objetos distintos e entre conhecimentos distintos, pode gerar resultados identificados com os pensamentos basilares da epistemologia da complexidade, que ora emerge em oposição e em complemento ao paradigma moderno e que é fundada na tríade moriniana distinção-união-incerteza/criatividade. Tal acréscimo é extensível ao âmbito do ensino e da aprendizagem de ciências e matemática via modelagem matemática na medida em que a modelagem mantém laços com a investigação experimental.

Na perspectiva da complexidade, Morin, Ciurana & Motta declaram que:

É verdade que os segmentos de estratégias bem-sucedidos no desenvolvimento de um método podem ser arquivados e codificados como segmentos programados para o futuro se as mesmas condições se mantiverem constantes. O método é uma estratégia do sujeito que também se apóia em segmentos programados que são revistos em função da *dialógica* entre essas estratégias e o próprio caminhar. O método é simultaneamente programa e estratégia e, por retroação de seus resultados, pode modificar o programa; portanto o método aprende (MORIN; CIURANA & MOTTA, 2003, p.28).

O paradigma da simplificação, também chamado de paradigma moderno, é fundamentado no pensamento ao mesmo tempo fragmentador, que distingue e isola, e determinista, que apregoa a possibilidade do alcance cabal de todos os pormenores fenomênicos da natureza. Essa concepção prevalece no mundo, em particular nas sociedades ocidentais, desde o século XVII, quando Francis Bacon e René Descartes revigoraram as duas grandes (e antagônicas, embora concordantes quanto aos aspectos da fragmentação e do determinismo) correntes epistemológicas clássicas: de um lado, a empirista, segundo a qual a cognição tem ou teria por princípio a apreensão do mundo pelo homem através dos sentidos físicos, sendo todo o conhecimento humano, conforme tal ponto de vista, derivado direta ou indiretamente dessa sensibilidade ou percepção experimental (JAPIASSÚ & MARCONDES, 1996); de outro lado, a racionalista, defensora do “alcance das verdades” via exercício racional, mediante utilização, segundo

Descartes, do “bom senso”, elemento que seria imanente a todos os homens. De acordo com Japiassú & Marcondes, o racionalismo:

[...] Privilegia a razão dentre todas as faculdades humanas, considerando-a como fundamento de todo conhecimento possível. O racionalismo considera que o real é em última análise racional e que a razão é portanto capaz de conhecer o real e de chegar à verdade sobre a natureza das coisas (JAPIASSÚ & MARCONDES, 1996, p. 229).

O paradigma da modernidade assevera que a ciência, denotativa de rigor, de precisão e de observância a um método inflexível, tem primazia sobre as demais formas de expressão cultural, entre as quais a arte, a filosofia e a religião. Em nome da supremacia dessa ciência, nascida na península balcânica há cerca de dois mil e quinhentos anos – e que teve o seu fôlego renovado após a era medieval –, os saberes e os fazeres de diversos povos³, de grupos humanos que interagem e interagem com ambientes ou contextos culturais vários e peculiares, foram e têm sido rebaixados, calados ou mesmo aniquilados.

O caráter fragmentador da ciência moderna, herança sobremaneira cartesiana, preceitua a separação entre: sujeito e objeto; sujeito e conhecimento; objeto e conhecimento; sujeitos distintos; objetos distintos; conhecimentos distintos. O determinismo das leis naturais, ou melhor, a crença nesse determinismo, denotando um universo supostamente ordenado, regular, reversível, previsível e, portanto, não-criativo e inibidor da liberdade humana, também é idéia central no que tange à modernidade. Edgar Morin assevera que:

Até meados do século XX, a maioria das ciências obedecia ao princípio de redução, que limitava o conhecimento do todo ao conhecimento das partes, como se a organização do todo não produzisse qualidades ou propriedades novas em relação às partes consideradas isoladamente.

O princípio de redução leva naturalmente a restringir o complexo ao simples. Assim, aplica às complexidades vivas e humanas a lógica mecânica e determinista da máquina artificial. Pode também cegar e conduzir a excluir tudo aquilo que não seja quantificável e mensurável, eliminando, dessa forma, o elemento humano do humano, isto é, paixões, emoções, dores e alegrias. Da mesma forma, quando obedece estritamente ao postulado determinista, o princípio de redução oculta o imprevisto, o novo e a invenção (MORIN, 2002c, p. 42).

A ingerência do paradigma da simplificação, malgrado as suas limitações, foi e, ao que tudo indica, continua sendo notória e predominante nos mais diversos contextos, incluso o relativo ao ensino e à aprendizagem de ciências e matemática.

³ Sociedades não-europeias em sua maioria.

Nesse sentido, percebemos a prevalência de um currículo prescritivo, conteudista, em que o conhecimento geralmente não é visto como construção derivada da conexão entre sujeito e objeto de estudo, mas como descoberta, como algo objetivo e independente da intervenção criativa do ser humano, cabendo ao professor e ao aluno, na maioria das vezes, os papéis, respectivamente, de mero transmissor e de receptor passivo desse conteúdo.

Habitualmente, os saberes são ou estão fragmentados, dispostos em compartimentos disciplinares que não se comunicam. É comum, em se tratando de cursos de licenciatura em ciências e matemática, pouca ou nenhuma associação entre, por exemplo, as disciplinas específicas e as pedagógicas. Além do mais, o que se estuda na escola é normalmente dissociado de contextos outros. De um modo geral, não se buscam relações entre os conhecimentos trabalhados em sala de aula e os níveis ou âmbitos sociais, políticos, econômicos, ecológicos etc. do mundo extraclasse.

Referindo-se ao ensino de ciências e à sua experiência como graduanda, Schnetzler afirma que:

Se, por um lado, o que importa nas disciplinas de conteúdo específico era e continua sendo o conteúdo científico em si e por si, por outro lado, por minha própria experiência, quando eu me dirigia à Faculdade de Educação para assistir às aulas de disciplinas pedagógicas, ali me deparava com teorias que, pela sua estranheza e desvinculação da realidade, não me possibilitavam perceber qualquer contribuição para a minha futura carreira de professora, pois se constituíam de exposições e mesmo de rígidas prescrições pedagógicas genéricas, descoladas do 'conhecimento químico' que eu sabia ter que futuramente ensinar (SCHNETZLER, 2000, p. 17).

Em que pese a supremacia da epistemologia moderna no mundo atual, suas deficiências são cada vez mais flagrantes. É bem verdade que o paradigma da simplificação/modernidade trouxe grande desenvolvimento – um avanço exponencial, diga-se – às ciências e à tecnologia ao longo dos últimos séculos. Mas também é correto afirmar que esse paradigma dificultou e dificulta a percepção de que, por exemplo, ciência, tecnologia, economia, política e sociedade são interdependentes e decisivas no que tange à paz, à guerra, à riqueza e à pobreza, liberdade e subordinação, sustentabilidade ecológica e crime ambiental etc.

Como se não bastasse a progressiva constatação de deficiências afetas ao paradigma moderno/cartesiano (e mesmo por conta dessa constatação), nos últimos decênios um número crescente de pensadores tem chegado a conclusões favoráveis quanto à realidade da interação entre os diversos contextos e quanto ao realismo da indeterminação ou criatividade inerente ao homem e à natureza, o que indica a emergência de um novo paradigma, oposto, frisamos, aos pilares da simplificação. O novo paradigma admite (e essa é uma das suas maiores características) a validade de manifestações culturais até então sufocadas pela intolerância da ciência moderna. Fritjof Capra afirma que:

Quanto mais estudamos os principais problemas de nossa época, mais somos levados a perceber que eles não podem ser entendidos isoladamente. São problemas sistêmicos, o que significa que estão interligados e são interdependentes. Por exemplo, somente será possível estabilizar a população quando a pobreza for reduzida em âmbito mundial. A extinção de espécies animais e vegetais numa escala massiva continuará enquanto o Hemisfério Meridional estiver sob o fardo de enormes dívidas. A escassez dos recursos e a degradação do meio ambiente combinam-se com populações em rápida expansão, o que leva ao colapso das comunidades locais e à violência étnica e tribal que se tornou a característica mais importante da era pós-guerra fria.

Em última análise, esses problemas precisam ser vistos, exatamente, como diferentes facetas de uma única crise, que é, em grande medida, uma crise de percepção. Ela deriva do fato de que a maioria de nós, e em especial nossas grandes instituições sociais, concordam com os conceitos de uma visão de mundo obsoleta, uma percepção da realidade inadequada para lidarmos com nosso mundo superpovoado e globalmente interligado (CAPRA, 2004, p. 23).

Na pedagogia, o emergente modelo de pensamento coaduna-se com um currículo enquanto processo, enquanto atividade. O currículo passa a ser entendido como o conjunto das experiências vivenciadas no ambiente escolar por professores, alunos e demais agentes educacionais. Como experiências em que sujeito e objeto, articulados, (re) constroem o conhecimento, que agora começa a ser visto como aproximação do objeto de estudo, em vez de ser encarado como a sua cópia ou reprodução exata, ou como algo definitivo e independente do sujeito. Conforme Morin (2002, p.20),

[...] conhecimento não é um espelho das coisas ou do mundo externo. Todas as percepções são, ao mesmo tempo, traduções e reconstruções cerebrais com base em estímulos ou sinais captados e codificados pelos sentidos.

Doravante, em um mundo pautado pela distinção, pela união e pela incerteza, torna-se imprescindível a figura do professor reflexivo e pesquisador⁴, que é (e por ser) fundamentada na crença acerca da realidade da permanente interação entre sujeito e objeto, interação essa que acarreta incessantes mudanças em ambos. Os trabalhos de Schön a propósito do professor reflexivo são parcialmente fundamentados no ideário deweyano. Por oportuno:

Dewey argumenta que o processo de reflexão de professoras e professores se inicia no enfrentamento de dificuldades que, normalmente, o comportamento rotineiro da aula não dá conta de superar. A instabilidade gerada perante essas situações leva-os a analisar as experiências anteriores. Sendo uma análise reflexiva, envolverá a ponderação cuidadosa, persistente e ativa das suas crenças e práticas à luz da lógica da razão que a apóia (CAMPOS & PESSOA, 1998, p. 190-191).

⁴ Vide o ideário de Donald Schön (CAMPOS & PESSOA, 1998), referente ao professor reflexivo, e/ou o corpo de ideias de Lawrence Stenhouse (DICKEL, 1998), a propósito do professor pesquisador.

Ademais, o processo de ensino-aprendizagem que proclama, diante de situações-problema, a verificação de hipóteses baseadas no conhecimento prévio dos estudantes (cujo arcabouço cognitivo guarda intrínseca relação com os contextos culturais que os influenciam, contextos esses que, por sua vez, recebem a influência criativa de referidos indivíduos) manterá, pois, identidade com os princípios de interação e de criatividade defendidos pela epistemologia emergente.

A modelagem e o método experimental valem-se de ações em comum, a exemplo da hipotetização e da verificação. Conforme Japiassú & 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 à 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 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 dicotomia entre sujeito e objeto, 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 [...] (ANASTÁCIO⁵, 2007, p.7-8).

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. Também 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.10).

Trata-se a modelagem de processo em que se busca representar determinado objeto, situação ou evento através da emissão de hipóteses explicativas e da 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 aritméticas 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).

Segundo Biembengut & Hein (2000), o processo de modelagem matemática compõe-se das seguintes ações:

- **Interação:** O pesquisador faz contatos com o problema ou tema a ser modelado, buscando familiarizar-se a respeito e coletar dados que possam ajudá-lo em sua investigação;
- **Matematização:** São lançadas hipóteses explicativas para as questões suscitadas, hipóteses que se baseiam nos conhecimentos do investigador. Faz-se uso do instrumental matemático com vistas à consecução do modelo com que se pretende representar o evento, tema ou situação em estudo;

⁵ Tal citação interessou-nos 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.

- **Modelo:** Testa-se a validade do modelo construído, devendo-se, em caso de se considerá-lo não-adequado ao objeto estudado, retomar a matematização.

É possível, assim entendemos, coadunar a modelagem matemática com o espírito de interação e de criatividade da epistemologia emergente. Trata-se de 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 e matemáticos a partir do estabelecimento de relações com conceitos, temas ou contextos que os alunos já dominam.

Podemos utilizar a modelagem matemática em aulas de ciências e matemática. Segundo Biembengut & Hein (2000), há correspondência entre os procedimentos apresentados nas próximas linhas e a referida possibilidade. Percebamos, no decorrer da descrição a seguir, a existência de aberturas ao fomento de um pensamento e de uma prática marcados pela interação e pela criatividade:

- **Diagnóstico:** O professor trava contato com aspectos sócio-econômicos e cognitivos de seus alunos. Mediante avaliações, percebe quais são os seus interesses. Percebe também quais são as dificuldades de aprendizagem e os obstáculos didáticos que podem prejudicar a implementação do trabalho proposto;
- **Escolha do tema:** O professor elege o assunto, fenômeno ou evento acerca do qual se buscará construir o modelo, podendo, também, o estudante, mediante orientação docente, protagonizar o processo de escolha. Sugere-se a escolha de um tema presente e impactante nas vidas dos alunos, a fim de que haja maior estímulo à elaboração de conceitos científicos correspondentes. É importante também o trabalho com um tema cuja complexidade não coloque em risco o sucesso da atividade, dadas as naturais limitações dos alunos modeladores e mesmo aquelas do próprio professor orientador;
- **Desenvolvimento do conteúdo programático:** Os alunos, orientados pelo professor, (re) constroem elementos científicos e matemáticos para tentar representar o objeto de estudo. Trata-se justamente dos momentos em que se busca processar a modelagem com ênfase em seu aspecto de método experimental de pesquisa, conforme indicado nas linhas anteriores através de: interação, matematização e modelo;
- **Orientação de modelagem:** O termo orientação, no sentido aqui empregado, não condiz com exposição mecânica, com descontextualização e com absorção acrítica. Indica, diferentemente, o oferecimento de condições para que o corpo discente possa construir conhecimentos a partir de seus próprios saberes e fazeres, a partir de seus próprios elementos culturais, em dinâmica pautada pela interação e pela criticidade.

Referindo-se a uma atividade de modelagem desenvolvida com uma turma do primeiro período do Curso Superior de Tecnologia em Eletrotécnica do CEFET-PR⁶, Ferruzzi, Almeida & Francisco afirmam que:

⁶ Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

Observamos que em alguns momentos, mostrou-se necessária a intervenção do professor com questionamentos para que os alunos ultrapassassem algum impasse no desenvolvimento da solução do problema e enriquecessem a discussão em torno do problema em estudo. O estilo de comunicação entre professor e os alunos possui características de um cenário de investigação, pois realizamos um convite aos alunos, visando à reflexão sobre suas conclusões e justificativas.

O professor deve comportar-se como um orientador, como um coordenador das atividades, tentando solucionar as dúvidas dos alunos, intervir quando solicitado e recomendar bibliografias que possam auxiliar os alunos, comportando-se assim como um norteador de idéias. É importante que os alunos reflitam sobre o seu trabalho. Assim, o professor não deve responder diretamente as questões, mas sim, usar questões que os incentivem a refletir sobre o seu desenvolvimento (FERRUZZI; ALMEIDA & FRANCISCO, 2005, p.10).

- **Avaliação:** É imprescindível que o professor avalie a si próprio, bem como permita o julgamento de sua prática por terceiros, com vistas a aperfeiçoar-se. Os alunos, e mesmo outros colegas de profissão, poderão dar-lhe os subsídios de que necessita. Por sua vez, a avaliação do corpo discente levada a efeito pelo professor orientador, sendo procedimento que objetiva a melhoria das condições para a consolidação da aprendizagem, há que ser não apenas diagnóstica e somativa, mas também, e sobretudo, formativa.

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 limitações da referida epistemologia, aliadas às conclusões a que se tem chegado a propósito das realidades da união ou interação e da criatividade afeta à indeterminação⁷, têm conduzido um número crescente de pessoas, entre elas diversos membros das comunidades científica e matemática, a defenderem a emergência de um novo paradigma.

No contexto pedagógico inerente às ciências e à matemática, as atividades em que se utiliza o método experimental de pesquisa, composto basicamente por tema, problema, hipóteses explicativas e verificação, se acrescidas da consciência de criatividade e de interação, consciência essa que só tem a ganhar com a atuação de um professor "reflexivo e pesquisador da própria prática", constituir-se-ão em ações irmanadas com o padrão emergente de pensamento. No ensino e na aprendizagem de ciências e matemática, a modelagem, que guarda ligações com o método 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 e de criatividade, tenderá a identificar-se com o padrão epistemológico que ora emerge.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria da Conceição de. Complexidade, do casulo à borboleta. In: CASTRO, Gustavo de; CAVALHO, Edgar de Assis; ALMEIDA, Maria da Conceição de (Orgs.). **Ensaios de complexidade**. 3.ed. Porto Alegre: Sulina, 2002. p. 21-41.

ANASTÁCIO, Maria Queiroga Amoroso. Concepções de matemática e de realidade no processo de modelagem matemática: Alguns apontamentos (Mesa Redonda). In: **Anais do V Congresso Nacional Sobre Modelagem na Educação Matemática**. Ouro Preto, Minas Gerais, 2007.

BASSANEZI, Rodney Carlos. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.

BETTO, Frei. Indeterminação e complexidade. In: CASTRO, Gustavo de; CARVALHO, Edgar de Assis; ALMEIDA, Maria da Conceição de. (Orgs.). **Ensaios de complexidade**. 3.ed. Porto Alegre: Sulina, 2002. p.42-48.

BIEMBENGUT, Maria Salett; HEIN, Nelson. **A modelagem matemática no ensino**. São Paulo: Contexto, 2000.

CAMPOS, Silmara de; PESSOA, Valda Inês Fontenele. Discutindo a formação de professoras e professores com Donald Schön. In: GERALDI, Corinta Maria Grisólia; FIORENTINI, Dario; PEREIRA, Elisabete Monteiro de A. (Orgs.). **Cartografias do trabalho docente: professor(a)-pesquisador(a)**. Campinas, SP: Mercado de Letras: Associação de Leitura do Brasil – ALB, 1998. p. 183-206.

CAPRA, Fritjof. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos seres vivos**. 9.ed. São Paulo: Cultrix, 2004.

DICKEL, Adriana. Que sentido há em se falar em professor-pesquisador no contexto atual? Contribuições para o debate. In: GERALDI, Corinta Maria Grisólia; FIORENTINI, Dario; PEREIRA, Elisabete Monteiro de A. (Orgs.). **Cartografias do trabalho docente: professor(a)-pesquisador(a)**. São Paulo: Mercado de Letras, 1998. p.33-71.

FERRUZZI, Elaine Cristina; ALMEIDA, Lourdes Maria Werle de; FRANCISCO, Devanil Antônio. Uma proposta de atividade utilizando modelagem e investigação matemática. In: **Anais da IV Conferência Nacional Sobre Modelagem e Educação Matemática**. Feira de Santana, BA, 2005.

JAPIASSÚ, Hilton; MARCONDES, Danilo. **Dicionário básico de filosofia**. 3.ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1996.

LEVY, Lênio Fernandes. **Os professores, uma proposta visando à transdisciplinaridade e os atuais alunos de matemática da educação pública municipal de jovens e adultos de Belém, Pará**. Dissertação de Mestrado. 2003.

LIMA, Hermano Machado F. Ciência e complexidade. In: CASTRO, Gustavo de; CARVALHO, Edgard de Assis; ALMEIDA, Maria da Conceição de. (Orgs.). **Ensaio de complexidade**. 3.ed. Porto Alegre: Sulina, 2002. p. 49-54.

MORIN, Edgar. Ciência e consciência da complexidade. In: MORIN, E.; LE MOIGNE, J. L. **A inteligência da complexidade**. 2. ed. São Paulo: Fundação Peirópolis, 2001. p. 25-41.

_____. A epistemologia da complexidade. In: MORIN, E.; LE MOIGNE, J. L. **A inteligência da complexidade**. 2. ed. São Paulo: Fundação Peirópolis, 2001b. p. 43-137.

_____. **Ciência com consciência**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001c.

_____. Complexidade e ética da solidariedade. In: CASTRO, Gustavo de; CARVALHO, Edgard de Assis; ALMEIDA, Maria da Conceição de. (Orgs.). **Ensaio de complexidade**. 3.ed. Porto Alegre: Sulina, 2002^a. p. 11-20.

_____. Educação e complexidade: os sete saberes e outros ensaios. In: ALMEIDA, Maria da Conceição de; CARVALHO, Edgard de Assis. (Orgs.). **Edgar Morin**. São Paulo: Cortez, 2002b. p.11-102.

_____. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. 6.ed. São Paulo: Cortez, 2002c.

_____. KERN, Anne Brigitte. **Terra-pátria**. 3.ed. Porto Alegre: Sulina, 2002.

_____. CIURANA, Emílio-Roger; MOTTA, Raúl Domingo. **Educar na era planetária: o pensamento complexo como método de aprendizagem pelo erro e incerteza humana**. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2003.

PETRAGLIA, Izabel Cristina. **Edgar Morin: a educação e a complexidade do ser e do saber**. 7.ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2002. 115p.

PRIGOGINE, Ilya. **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. São Paulo: UNESP, 1996.

_____. Ciência, razão e paixão. In: CARVALHO, Edgard de Assis; ALMEIDA, Maria da Conceição de (Orgs.). **Ilya Prigogine**. Belém: EDUEPA, 2001.

_____. Nome de deuses, Liège, Bélgica, 1997. **Ilya Prigogine: do ser ao devir**. São Paulo: UNESP, Belém, PA: EDUEPA, 2002 (entrevista concedida a Edmond Blattchen).

SCHNETZLER, Roseli Pacheco. O professor de ciências: problemas e tendências de sua formação. In: SCHNETZLER, Roseli Pacheco; ARAGÃO, Rosália Maria Ribeiro de (Orgs.). **Ensino de ciências: fundamentos e abordagens**. Campinas: CAPES/UNIMEP, 2000. p. 12-41.

SILVA, Juremir Machado da. Em busca da complexidade esquecida. In: CASTRO, Gustavo de; CARVALHO, Edgard de Assis; ALMEIDA, Maria da Conceição de. (Orgs.). **Ensaio de complexidade**. 3.ed. Porto Alegre: Sulina, 2002. p. 93-102.

WEBER, Renée. **Diálogos com cientistas e sábios: a busca da unidade**. 12.ed. São Paulo: Cultrix, 1997.