

ATIVIDADES DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS E AÇÕES ENVOLVIDAS

MODELLING ACTIVITIES AND RELATED ACTIONS

Poliana Flávia Maia Ferreira¹
Rosária da Silva Justi²

¹UFMG/Faculdade de Educação, polianamaia@yahoo.com.br

²UFMG/Departamento de Química, rjusti@ufmg.br

Resumo

Alguns estudos têm mostrado que o envolvimento dos alunos em atividades de construção e reformulação de modelos ajuda a promover um entendimento que vai além da memorização de fatos e informações e tende a favorecer o desenvolvimento de um conhecimento flexível e crítico que pode ser aplicado em diferentes situações e problemas. Considerando a possibilidade de se trabalhar com os estudantes habilidades que contribuam para o desenvolvimento de atividades de construção de modelos, é necessário delimitar mecanismos de ensino e ações dos professores que propiciarão essa prática, uma vez que o conhecimento dos professores é de fundamental importância no planejamento e condução de situações que ajudam os estudantes a aprender ciências. Nessa perspectiva, esse trabalho se fundamenta em diversas fontes da literatura relacionadas a modelos e modelagens e discute uma série de ações dos professores que podem contribuir para o desenvolvimento de atividades de construção de modelos em sala de aula.

Palavras-chave: construção de modelos, ações de professores.

Abstract

Studies have shown that students' engagement in modelling activities help them to understand facts and information instead of learning them by heart. It also tends to favour the development of a flexible and critical knowledge that may be applied in different situations and problems. Assuming the possibility to help students in the development of capabilities needed for modelling activities, it emerges the need of pointing out the teaching strategies and the teachers' actions that could favour such a practice. This is because teachers' knowledge is of pivotal importance in planning and conducting situations that could help students in learning science. In this sense, this study, based on the literature on models and modelling, discusses several teachers' actions that could contribute to the development of modelling activities in science classrooms.

Keywords: modelling, teachers' actions.

RELEVÂNCIA DE ATIVIDADES DE MODELAGEM NO ENSINO

Algo que tem sido consenso entre muitos educadores atualmente é que um ensino baseado na memorização de informações, promovendo o desenvolvimento de entendimentos superficiais e um conhecimento inerte não contribui para modificar as idéias que os alunos trazem para a sala de aula sobre os conceitos científicos (chamadas na literatura de concepções alternativas) (Barab *et al.*, 2000). O conhecimento que os estudantes adquirem da instrução tradicional tende a ser fragmentado e difuso, não indo além da memorização de fatos, equações ou procedimentos. Em ciências, em específico, várias discussões têm ocorrido a respeito da importância de seu ensino e de como esse ensino tem sido promovido (Wellington, 2001; Hodson, 2003, por exemplo). Alguns documentos como *Beyond 2000: Science Education for the Future* (Millar & Osborne, 1998), *Science for All Americans* (AAAS, 1989), e os PCN (Brasil, 1999), no Brasil, têm apresentado novas diretrizes e novos objetivos para o ensino que vem sendo promovido. *Science for All Americans* definiu uma pessoa cientificamente instruída como:

“alguém que é ciente que ciência, matemática e tecnologia são empreendimentos humanos interdependentes com poderes e limitações; entende conceitos chave e princípios da ciência; é familiarizado com o mundo natural e reconhece tanto sua unidade como sua diversidade; e usa o conhecimento científico e caminhos científicos do pensamento para propósitos individuais e sociais.” (AAAS, 1998, p.4)

Uma outra questão abordada por esses documentos é a necessidade de inserção do estudante em seu processo de aprendizagem, deixando de ser um mero receptor de informações e passando a participar ativamente de seu processo de formação. O relatório *Beyond 2000* (que é apresentado como fruto do desejo de promover uma nova educação em ciências para os jovens) retrata bem essa mudança no ensino de ciências:

“... a disparidade crescente entre a instrução da ciência fornecida em nossas escolas e as necessidades e interesses das pessoas que serão nossos cidadãos futuros. A instrução, no fim do século 20, não mais prepara indivíduos para o emprego seguro, na indústria local ou nos serviços. O ritmo rápido da mudança tecnológica e a globalização resultaram em uma necessidade de indivíduos que têm não apenas uma ampla instrução geral, mas também habilidades de comunicação, adaptação e compromisso com a aprendizagem contínua.” (Millar & Osborne, 2000, p. 2).

Dessa maneira, faz parte dessa nova perspectiva a promoção de um ensino mais significativo, que ajude os estudantes a desenvolver um entendimento mais coerente, flexível, sistemático e, principalmente, crítico. Para tanto, torna-se necessário buscar engajar o estudante no processo de construção do conhecimento.

Como apontado pelo documento da AAAS, uma das maneiras de se trabalhar dentro dessa nova proposta de ensino é colaborar para a formação de uma visão mais ampla da ciência, promovendo um conhecimento de como ela é construída e usada. Assim, um ensino baseado em atividades de construção e reformulação de modelos está de acordo com essa perspectiva. Essa afirmação pode ser feita porque compreender o processo de construção de modelos significa conhecer as bases sobre as quais se desenvolve o conhecimento em ciências. Isso porque modelos são a base de todo o conhecimento científico, sendo sua importância amplamente reconhecida entre cientistas e filósofos da ciência (Nersessian, 1999).

A introdução de estudantes em atividades de construção de modelos, além de contribuir para a elaboração de conhecimentos específicos, ajuda o aluno a construir seus próprios modelos,

avaliar os seus e outros modelos usados pelo ensino e pela ciência, além de compreender o processo de construção de modelos – sob um aspecto geral, e na ciência, em específico – e porque são construídos (Justi & Gilbert, 2002). Assim, o aluno se torna sujeito ativo do seu próprio processo de construção do conhecimento, estando engajado em atividades que propiciam a reflexão crítica sobre o objeto em estudo e, conseqüentemente, uma aprendizagem significativa.

Alguns estudos têm discutido como o processo de construção de modelos pode contribuir na construção do conhecimento (por exemplo, Barab *et al.*, 2000; Vosniadou, 2002, Ferreira e Justi, 2005), mostrando que o envolvimento dos alunos em atividades de construção e reformulação de modelos ajuda a promover um entendimento que vai além da memorização de fatos e informações e tende a favorecer o desenvolvimento de um conhecimento flexível e crítico que pode ser aplicado e transferido para diferentes situações e problemas (Clement, 2000). Saari e Viiri (2003) defendem que modelagem precisa ser um método mais usado, se é desejado que a aprendizagem dos estudantes seja permanente.

Esses estudos sobre a utilização de modelos no ensino são recentes e mostram que a modelagem ainda não faz parte da prática pedagógica dos professores. De acordo com van Driel e Verloop (1999), o foco no ensino de modelos está usualmente no conteúdo dos modelos que estão sendo ensinados e aprendidos, enquanto a natureza dos modelos não é explicitada ou discutida. Esses autores também sugerem que não é usual para estudantes serem convidados a participar ativamente em atividades de construção e reformulação de modelos. Isso está em desacordo tanto com a relevância do estudo de modelos como com a própria natureza do conhecimento, uma vez que os modelos fazem parte do processo normal de aquisição e construção do mesmo.

O homem constrói modelos mentais que representam aspectos tanto do mundo físico quanto do social, e manipula esses modelos ao pensar, planejar e tentar explicar eventos desse mundo. Assim, a construção de modelos é um processo inerente ao sistema cognitivo humano na sua busca por compreender o universo que o cerca (Vosniadou, 2002).

Quando pessoas raciocinam sobre o mundo físico, elas freqüentemente usam modelos mentais, particularmente em situações onde a resposta não pode ser buscada de informações previamente acumuladas ou não pode ser deduzida de informação verbal. Esses modelos, construídos e rodados nas mentes das pessoas – chamados *modelos mentais* –, podem ajudá-las a elaborar conhecimentos implícitos que podem ser usados para responder questões e resolver problemas (Borges, 1999). Quando isso ocorre, o modelo mental se torna um veículo através do qual os conhecimentos implícitos interagem com as idéias do sujeito e passam a integrar seu sistema conceitual.

Modelos mentais fazem parte de todo processo de construção de modelos, seja na ciência ou no ensino. A partir do momento que é preciso comunicar esse modelo a outros, ou mesmo trabalhá-lo mais sistematicamente, é necessário que ele seja, de alguma forma, expresso. Esse *modelo expresso* pode, então, ser trabalhado individual ou coletivamente, sendo o segundo caso mais de acordo com a realidade do ensino. O processo de construção social desse modelo também faz parte da proposta de atividades de modelagem, sendo que essa interação social tem um papel fundamental no desenvolvimento da cognição, permitindo que um aprendiz avance substancialmente através do suporte da relação com os outros.

O CONHECIMENTO DOS ALUNOS SOBRE MODELOS E MODELAGENS

Não parece haver regras gerais para a construção de modelos, como, por exemplo, há regras detalhadas que podemos encontrar para procedimentos experimentais ou métodos de medidas. Algumas pessoas argumentam que é porque modelagem é uma habilidade tácita, que não pode ser ensinada (Morgan & Morrison, 1999). Essa, entretanto, é uma questão à qual será dada mais atenção adiante.

A construção de modelos certamente envolve uma grande quantidade de habilidades. Modelar envolve um elemento criativo, não sendo apenas um ofício, mas, também, uma arte (Vosniadou, 2002). Ao elaborar um modelo, há, inicialmente, um processo de escolha e integração de itens que são considerados relevantes por uma questão particular. Modelar é o processo de interpretar, conceituar e integrar aspectos que permitam o estudo do problema em mãos através da proposição e teste de representações para tais aspectos. Assim, ao trabalhar a modelagem no ensino, deve-se conhecer não só o tipo de conhecimento que os estudantes já possuem sobre o tópico científico em particular, mas também que tipo de noção eles têm sobre modelos e modelagem.

O conhecimento sobre o que são os modelos, para que servem, suas aplicações e limitações se coloca como aspecto fundamental a ser desenvolvido para que o aluno possa participar de atividades relativas à modelagem. Envolver estudantes no estudo sobre a utilização dos modelos na ciência permite que eles percebam os modelos como importantes ferramentas na prática científica, conhecendo a estreita relação dos mesmos com o desenvolvimento de teorias, podendo ser usados como instrumentos de exploração tanto no domínio prático quanto no teórico, como mediadores entre teoria e fenômeno (Morrison & Morgan, 1999). Além disso, para entender ciência, os estudantes devem conhecer como modelos são construídos e validados.

Alguns estudos têm sido feitos sobre a noção dos estudantes (principalmente dos níveis médio e universitário) sobre modelos. Tais estudos têm mostrado: que é difícil para os eles compreender o conceito de modelos (Grosslight *et al.* 1991, por exemplo) e que os estudantes não possuem uma noção desenvolvida sobre modelagem, mesmo depois do ensino formal, a menos que tenha sido dada uma ênfase particular nesse processo. Dentre as idéias dos estudantes citadas por esses estudos, pode-se destacar o pensamento de que podemos fazer modelos apenas de coisas que podem ser visualizadas, sendo um modelo apreendido diretamente da realidade. Contrariamente, em ciência modelos são, muitas vezes, usados para “coisas” que não podem ser diretamente observadas, coisas cuja existência nós podemos apenas imaginar ou, ainda, modelos podem advir apenas de teorias – sem considerar o fenômeno em si. Estudantes tendem a pensar modelos como sendo uma coisa, um artefato, mas em ciência um modelo é usualmente abstrato. Na maioria das vezes, a idéia dos estudantes é que modelos são cópias da realidade ou, simplesmente, miniaturas (no caso do modelo para sistema solar, por exemplo). Eles pensam que há uma correspondência perfeita entre o modelo e aquilo que ele representa. Entretanto, em ciência modelos são usados para descrever e fazer previsões sobre a estrutura e processos de objetos muitas vezes não conhecidos.

Para que os estudantes possam ser inseridos em atividades de construção de modelos, é necessário que eles desenvolvam algumas idéias principais sobre modelos, de maneira que eles sejam capazes de reconhecer que modelos:

- podem ser concretos ou abstratos, não apenas simples artefatos;
- são usados para representar um determinado domínio (sua estrutura e processo), não sendo uma cópia desse domínio;
- simplificam os seus domínios, não representando todos os seus aspectos;
- podem ser usados para prever e explicar o comportamento de um fenômeno;
- podem ser aplicados em vários contextos, não apenas em situações de interesse imediato.

Assim, os estudantes devem perceber que modelos não são a representação fidedigna de uma realidade como um todo, e que a modelagem sempre envolverá certas simplificações e aproximações que, muitas vezes, têm de ser decididas independentemente de implicações teóricas ou de dados empíricos. O estudante deve perceber que limitações fazem parte de

qualquer modelo construído e que, mesmo fazendo correções para aumentar a exatidão da representação, ainda assim, um modelo será apenas uma representação parcial.

Perceber a utilização na ciência de vários modelos para um mesmo sistema também faz parte do conhecimento que estudantes devem desenvolver sobre modelos, pois é necessário reconhecer a legitimidade de cada diferente representação em função da performance dos modelos em contextos específicos. Esse é um requisito para que o estudante se sinta encorajado a construir modelos, uma vez que, desta maneira, ele reconhecerá a validade dos seus.

Essas idéias que os estudantes devem, reconhecidamente, desenvolver a respeito de modelos em ciência são, todavia, negligenciados durante o ensino (Crawford & Cullin, 2004). Todos esses elementos apontados como necessários para a compreensão sobre modelos e modelagem evocam o desenvolvimento de habilidades que se refletirão na capacidade de o indivíduo perceber o domínio, a aplicação e as limitações de um modelo. Apesar do elemento criatividade não poder ser diretamente ensinado, todas as outras habilidades para a construção de modelos podem ser desenvolvidas, propiciando uma melhora no desempenho dos alunos nesse processo. Dessa forma, defende-se aqui que modelagem é um processo que pode, de certa forma ser ensinado. Treagust *et al.* (2002) alegaram previamente que modelagem é uma habilidade intelectual que se desenvolve sob a influência de assistência e experiência.

O CONHECIMENTO DOS PROFESSORES SOBRE MODELOS E MODELAGEM

É necessário, antes de abordar mais detalhadamente o processo de construção de modelos, discutir o papel e o conhecimento do professor sobre modelos e atividades de modelagem. Uma consideração a fazer é que a introdução de estudantes em atividades de modelagem requer que os professores tenham, como uma condição necessária para o sucesso, uma apropriada compreensão de como funciona tal processo. Dessa forma, o professor deve apresentar uma compreensão satisfatória sobre a natureza da ciência – aspecto essencial para que o propósito do processo de modelagem em ciência seja alcançado. Entretanto, é evidente, por numerosos estudos (por exemplo, Crawford e Cullin, 2004 e Justi e Gilbert, 2002), que muitos professores carecem de conhecimento acessível dos aspectos fundamentais da natureza da ciência e dos processos da ciência. Um dos aspectos mais críticos do trabalho científico é o uso de modelos para explicar fenômenos da natureza. Entretanto, práticas usadas no ensino raramente incluem atividades de modelagem e não enfatizam o desenvolvimento do conhecimento científico como um processo contínuo de produção e revisão de modelos.

As reformas na área de educação em ciências apontam para a necessidade de os professores serem instruídos em muitos aspectos da investigação científica, incluindo a função dos modelos e modelagem. Como alguns estudos apresentam (Taylor *et al.*, 2003; Wells *et al.*, 1995), não é suficiente que o professor saiba o conteúdo, ele deve também conhecer as concepções prévias que os alunos podem apresentar e trabalhar com base nelas, promovendo atividades que direcionem para uma reestruturação das concepções dos alunos que resultaria em aprendizagem significativa. Portanto, há a necessidade de o professor conhecer bem o processo de construção de modelos, tendo familiaridade com a noção de modelagem dos seus estudantes e desenvolvendo sua própria familiaridade e experiência com ensino de modelagem.

Por outro lado, o professor não é dispensado da necessidade de conhecer bem a teoria com a qual está trabalhando, pois há momentos em que o professor deverá introduzir e desenvolver aspectos dos modelos científicos que serão disponibilizadas aos estudantes. É preciso um equilíbrio entre o professor apresentar informações sobre um dado contexto, ou mesmo sobre o processo, e explorar as próprias idéias dos estudantes. Não é possível para estudantes descobrir e/ou desenvolver modelos que requerem determinado nível de abstração ou mesmo de conhecimento. No caso de modelagem de entidades não observáveis, é necessário fazer uso de um entendimento mais profundo de modelagem do que o que a maioria dos estudantes têm (Grosslight *et al.* 1991). A maioria dos estudantes, pelo menos até o ensino

médio, não está apta a trabalhar com idéias abstratas por eles mesmos. Por isso o professor é uma peça chave ao trabalhar na mediação com o conhecimento científico pré-existente. Naturalmente, as discussões dos estudantes são importantes para o processo de aprendizagem, mas o papel do professor ao guiar a aprendizagem no contexto desse tipo de tópico abstrato é essencial.

Como o reconhecimento do papel de modelos e modelagem no ensino de ciências é recente, professores de ciências não têm sido adequadamente preparados com conhecimentos e habilidades adequadas para ensinar em uma perspectiva que é focada no entendimento dos estudantes sobre a natureza da ciência (Justi & van Driel, 2005). Justi e Gilbert (2002) relatam que:

“a maioria dos professores não possuem conhecimento compreensivo e práticas relacionadas à construção de modelos requeridos pelos estudantes no aprendizado de ciências e, sequer têm uma formação apropriada sobre a natureza da ciência.”
(p. 384)

A tradicional preparação de professores em ciências muitas vezes focaliza primeiramente o domínio dos fatos e transmite uma imagem de investigação científica não associada com a prática científica (Crawford & Cullin, 2004), além de usualmente apresentar modelos para serem aprendidos como fatos estáticos.

As iniciativas tomadas tentando melhorar a formação do professor para a atuação em atividades de construção de modelos (por exemplo Crawford & Cullin, 2004) estiveram focadas apenas no conhecimento dos professores sobre modelos e modelagem, não contemplando aspectos relativos a como utilizar atividades de modelagem no ensino. Entretanto, professores somente estarão aptos a sustentar e conduzir o processo de construção de modelos em suas salas de aulas se eles apresentarem uma compreensão clara da utilização de modelos em ciência. Assim, é importante encorajar o desenvolvimento do conhecimento dos professores sobre modelos e modelagem, bem como sua aplicação na prática de sala de aula.

PROPOSTAS PARA O ENSINO

Considerando a possibilidade de se trabalhar com os estudantes habilidades que contribuam para o desenvolvimento de atividades de construção de modelos – conforme discutido anteriormente – é necessário delimitar mecanismos de ensino e ações dos professores que poderão propiciar essa prática. Nessa perspectiva, é possível fazer algumas considerações gerais em relação à ação dos professores. Para tanto, é preciso mapear o processo pelo qual se dá a construção de modelos e inferir, em cada etapa, quais seriam as ações empenhadas.

Um modelo que descreve esse processo de modelagem foi proposto por Justi e Gilbert (2002) e, com base nele, serão apresentadas propostas, em termos de ações, para a condução do ensino fundamentado no mesmo. Esse modelo de modelagem é representado através de um diagrama (Anexo I) e não é uma regra que deve ser seguida para se construir um modelo. Na verdade, ele foi elaborado como resultado da observação de como os modelos são construídos, seja cientificamente, seja na educação. Todas as etapas e processos descritos no diagrama são necessários e inerentes na construção de modelos, sendo executados conscientemente (por cientistas) ou não (por estudantes e pessoas leigas).

A construção de um modelo se inicia pela observação do fenômeno que se deseja estudar, definindo um propósito e limitando-se os aspectos que serão trabalhados. Todo processo de modelagem é desenvolvido com um determinado propósito, seja ele descrever o comportamento de um fenômeno, descrever o raciocínio para aquele comportamento, prever como aquilo vai acontecer sob determinadas circunstâncias, ou outros (Justi & Gilbert, 2002). A pessoa formula um modelo mental de um modelo consensual, modificando um modelo existente ou produzindo seu próprio modelo, dependendo do propósito, que deve ser deixado claro. Esse

processo de decisão deverá partir, direta ou indiretamente, qualitativa ou quantitativamente, de uma experiência com o fenômeno a ser modelado: fazendo observações ou coletando informações previamente existentes sobre ele.

Quando pensam sobre um fenômeno, processo, ou sistema novo, as pessoas formulam modelos iniciais, tomando algumas características daquilo que elas assumem como ponto de partida. As características escolhidas são aquelas que o observador considera importantes naquela situação. Dependem, portanto, de como ele percebe a novidade, do seu conhecimento prévio e de memórias de experiências com situações que ele julga parecidas com a presente.

Considerando que essa etapa inicial consiste, então, da definição do propósito do modelo, interpretação do fenômeno e integração com conhecimentos prévios, o professor tem grande responsabilidade por decisões tomadas anteriormente. Primeiro para selecionar um fenômeno ou sistema (observável ou não) que provoque os estudantes e faça com que eles se engajem na solução de um problema. Esse fenômeno ou sistema deve ser acessível à compreensão desses alunos e, ao mesmo tempo, deve trazer implícito um problema que provoque um conflito nas idéias que os estudantes apresentavam anteriormente, de forma que eles busquem uma reequilíbrio por solucioná-lo. Em segundo lugar, o que está sendo investigado deve estar claro. Não que isso deva ser explicitamente exposto e/ou imposto ao estudante, mas deve estar claro através do problema que está sendo gerado. Por fim, o professor deve conhecer o nível de conhecimento dos seus estudantes, julgando se seus modelos anteriores são suficientes como ponto de partida para a construção e/ou reestruturação do novo modelo.

Após essa etapa, a pessoa elabora um modelo mental para seu objeto de estudo, a partir de modelos anteriores, modificando um modelo já existente ou criando seu próprio modelo. Para a elaboração do modelo mental é necessário que a pessoa tenha dados (teóricos ou empíricos) sobre o fenômeno com o qual ela vai trabalhar que possam auxiliá-la nessa construção. Nesse momento há o desenvolvimento de modelos individualmente, sendo que esse é um processo pessoal, ao qual o professor não terá acesso. Perguntas formuladas anteriormente sobre o fenômeno podem auxiliar o aluno a desenvolver seu modelo mental através da problematização da questão.

Após a elaboração do modelo mental, deve-se decidir a forma através da qual ele será expresso. Nesse momento, deve haver uma adequação entre o modelo que a pessoa elaborou em sua mente e o modelo que será expresso, podendo ocorrer um ciclo de alterações em ambos até o ponto em que um modelo esteja satisfatoriamente de acordo com o outro. A disponibilidade de materiais e recursos para a expressão do modelo influencia na capacidade de o indivíduo transpor seu modelo mental. Assim, o professor pode disponibilizar esses recursos e não limitar a alguma forma de representação convencional, deixando a cargo da criatividade e das limitações de cada aluno.

Ao observar os modelos expressos pelos alunos, o professor deve estar ciente de que esse modelo tem de estar de acordo com a situação problema, não com o modelo aceito cientificamente. Faz parte do processo de modelagem a ocorrência de múltiplos modelos para um mesmo fenômeno. Isso porque o conhecimento prévio dos estudantes, bem como os aspectos que cada um enfatizou, é uma questão individual. Se a pessoa já tem algum conhecimento sobre o fenômeno ou sistema apresentado, sua percepção sobre o que é relevante é diferente da de quem tem menos conhecimento daquele processo. O nível de sofisticação do novo modelo dependerá da sofisticação dos seus modelos prévios e da possibilidade de integrar o novo conhecimento a eles (Borges, 1999).

É importante pontuar que, nessa etapa do processo, se os alunos estão trabalhando em grupo, o processo de expressão do modelo mental de cada aluno constitui a base para a elaboração e expressão de um modelo consensual do grupo. Algumas vezes tal modelo pode ser muito próximo do modelo criado e expresso por um determinado aluno, mas, idealmente, ele

será o resultado do processo de socialização das idéias de todos (ou, pelo menos, da maioria de) os alunos do grupo.

Na próxima etapa, o modelo expresso obtido através do consenso no grupo de alunos deve ser testado através de experimentos mentais. Nesse momento, o modelo deve ser empregado em várias situações (imaginárias) para que seja possível avaliar a sua aplicabilidade, sua capacidade de explicação e/ou predição e a sua coerência com resultados esperados para os testes mentais. Caso o modelo falhe nesse ponto, é possível voltar no ciclo e propor modificações no modelo mental ou, ainda, rejeitar o modelo, dependendo dos resultados.

Nesse ponto, o professor deve assumir o papel de provocar os alunos, propondo questões que os levem a testar seus modelos em uma maior diversidade de situações. Essas questões são chamadas de *generative questions* (Vosniadou, 1999), questões que não podem ser respondidas a partir da informação acumulada, mas que requerem a genuína solução de um novo problema. Essa atitude promove o desenvolvimento de idéias dos estudantes sobre seus modelos em outros contextos ou, simplesmente, evidencia o problema em questão, para estudantes que talvez ainda não o tenham percebido.

O processo de teste e avaliação dos modelos nessa etapa deve ser comparado ao processo de construção de modelos na própria ciência, discutindo com os alunos que a ciência não é construída só de acertos – idéia muitas vezes passada pelo ensino tradicional.

Na maioria das vezes, quando o modelo é aprovado nos testes executados mentalmente, ele é testado empiricamente. A possibilidade de se realizar testes empíricos irá depender da atividade de modelagem que está sendo desenvolvida. Se isso for possível, testes podem ser realizados visando colocar à prova a capacidade preditiva do modelo para a qual, possivelmente, ele já foi testado mentalmente. Se o modelo falhar nessa etapa, ele pode entrar novamente no ciclo ou ser rejeitado. Obtendo sucesso nessa etapa, o modelo alcançou os objetivos para os quais foi construído e deve ser socializado para que outras pessoas tenham contato com ele e possam avaliá-lo segundo seus próprios conhecimentos do sistema.

Esse processo de socialização em sala de aula é de fundamental importância para o estudante durante as atividades, integrando os conhecimentos de diversos alunos e, algumas vezes, também do professor. Essa etapa é muito importante para que sejam levantadas as limitações do modelo, bem como a extensão de seu emprego. Outras pessoas podem fazer considerações sobre etapas anteriores no processo de construção do modelo (ampliando os propósitos iniciais do modelo, bem como a base de conhecimentos para sua construção), o que pode levar o modelo a entrar novamente no ciclo. Na Ciência, essa última etapa é fundamental, pois corresponde à comunicação do modelo à comunidade científica que, além do importante papel de contribuir com novos conhecimentos para a elaboração do modelo, poderá aceitá-lo ou rejeitá-lo.

É durante essa socialização que fica ainda mais evidente para o aluno a possibilidade de coexistência de diversos modelos para uma mesma situação, através da exposição dos modelos dos seus colegas e do reconhecimento da validade desses diferentes modelos.

Para isso é importante que o professor promova a condução desse processo sem julgar os modelos como certos ou errados, impondo o modelo cientificamente aceito. O professor deve se limitar a fazer questionamentos que façam o próprio aluno perceber as incoerências dos seus modelos e que os levem a testar e reestruturar as inconsistências percebidas, reformulando ou rejeitando seu modelo.

Esse processo de socialização é apontado no diagrama de modelagem em etapa posterior à experimentação mental e empírica do modelo. Isso, porém, se refere a um mecanismo mais geral de modelagem, o que não ocorre, necessariamente, no ensino. Esse processo de construção social do conhecimento pode começar anteriormente, quando trabalhado em sala de aula, podendo o modelo ser construído e testado em conjunto pelos estudantes, dependendo da proposta e do propósito do professor.

No processo de construção de modelos na educação, o engajamento dos estudantes é crucial para que eles tenham uma evolução do conhecimento. A comunicação do modelo construído pelo aluno (ou por um grupo de alunos) à turma é um processo de socialização que já provoca esse envolvimento do aluno. É o momento em que ocorre um engajamento no diálogo com a turma, em que o estudante deverá apresentar o suporte de suas idéias e avaliar o conhecimento que produziu. Isso irá proporcionar não só a interação entre os estudantes, mas entre os estudantes e o professor, entre os estudantes e seus modelos e mesmo entre os estudantes e o conhecimento que eles produziram. A tarefa de *criar* um modelo que deverá ser aceito por um grupo maior funciona como uma âncora ao redor da qual emerge a atividade dos estudantes (Barab *et al.*, 2000).

O conhecimento anterior do professor, a respeito das concepções prévias dos alunos ou das possíveis concepções alternativas sobre o tema em questão, servirá de subsídio para a condução de todo o processo de modelagem, seja no momento de propor a atividade e delimitar o objeto de estudo no de propor *generative questions* que colaborem para o desenvolvimento das idéias dos estudantes, ou no de apontar incoerências dos modelos. O professor deve ter controle do processo e verificar se seus alunos estão realmente aprendendo durante a atividade. O conhecimento de concepções alternativas o torna capaz de identificar mais facilmente inconsistências nas idéias dos estudantes, identificando sua origem e criando situações problema para promover uma reformulação de seus modelos atuais.

Um aspecto que deve ser pontuado sobre a introdução de alunos e professores em atividades de modelagem é que esse tipo de atividade demanda mais tempo se comparado ao ensino desenvolvido tradicionalmente. Isso porque os estudantes precisam de tempo para entender a idéia de modelagem que, por sua vez, precisa ser desenvolvida e aplicada em um maior número de contextos. É preciso um maior período de tempo de colaboração com o professor e com os outros estudantes para que possa emergir uma melhor noção científica do estudante.

CONCLUSÃO

Estudos na área de modelagem apontam que a aprendizagem ocorre mais ao construir e manipular modelos do que apenas a partir de observações dos mesmos (Vosniadou, 1999). Em atividades de construção e reformulação de modelos, os estudantes são considerados participantes ativos no processo de aprendizagem, promovendo seus próprios acertos (em relação à tarefa) e construindo relações significativas através de suas experiências. Nesse trabalho, o papel do professor muda, uma vez que ele pára de “dar” respostas corretas e passa a *guiar* e *facilitar* a aprendizagem, criando conflitos com modelos intuitivos previamente existentes na cabeça dos alunos. Dessa maneira os estudantes são engajados nesse processo de pesquisa que favorece uma reorganização de suas idéias. Nesse sentido, é essencial que o professor ouça seus alunos, saiba trabalhar com suas concepções prévias e que o conhecimento de modelagem seja introduzido, exercitado e checado em um plano social na sala de aula, durante todo o período nas atividades de modelagem, sendo analisado como o próprio processo de construção da ciência.

Para que tal processo seja desenvolvido com sucesso, é primordial que os professores tenham também um conhecimento adequado sobre a natureza da ciência, modelos e modelagem. Para isso, mais ênfase deve ser dada à modelagem durante os cursos de formação (inicial ou continuada) de professores, capacitando-os a refletir criticamente sobre o processo, a propor atividades de modelagem que possam ser aplicadas em uma maior gama de contextos e a conduzir o processo de ensino de forma adequada.

REFERÊNCIAS

- American Association for the Advancement of Science (AAAS) Science for All Americans. A Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology. Washington, DC: AAAS, 1989.
- BARAB, Sasha A., HAY, Kenneth E., BARNETT, Michael, KEATING, Thomas. Virtual solar system project: building understanding through model building. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 37, n. 7, p. 719-756, 2000.
- BORGES, Antônio Tarciso. Como evoluem os modelos mentais. *Ensaio*, v.1, p. 85-125, nov., 1999.
- Brasil. *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura, 1999.
- CLEMENT, John. Model based learning as a key research area for science education. *Journal of Science Education*, v. 22, p. 1041-1053, 2000.
- CRAWFORD, Barbara A. & CULLIN, Michael J. Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science. *International Journal of Science Education*, v. 26, p. 1379-1401, 2004.
- GROSSLIGHT, Lorraine, UNGER, Christopher, JAY, Eileen & SMITH, Carol L.. Understanding Models and their use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 28, p. 799-822, 1991.
- HARRISON, Allan.. Models and PCK: Their relevance for practicing- and pre-service teachers. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, St. Louis, 25-28 March, 2001.
- HODSON, Derek. Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, v. 25, p. 645-670, 2003.
- JUSTI, Rosária. & GILBERT, John K. Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, v. 24, p. 369-387, 2002.
- JUSTI, Rosária & VAN DRIEL, Jan. The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, v. 27, p. 549-573, 2005.
- MILLAR, Robin & OSBORNE, Jonathan (eds). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: King's College London School of Education, 1998.
- MORRISON, Margaret & MORGAN, Mary S. Models as mediating instruments. In Morrison, M. S. & Morgan, M. (eds). *Models as mediators*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. p. 10-37.
- NERSESSIAN, Nancy J. Model-based reasoning in conceptual change. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (eds.) *Model-based reasoning in scientific discovery*. New York: Kluwer and Plenum Publishers, 1999. p. 5-22.
- SAARI, Heikki & VIIRI, Jouni. A research-based teaching sequence for teaching the concept of modeling to seventh grade students. *International Journal of Science Education*, v. 25, p. 1333-1352, 2003.
- TAYLOR, Ian, BARKER, Miles & JONES, Alister. Promoting mental model building in astronomy education. *International Journal of Science Education*, v. 25, p. 1205-1225, 2003.

TREAGUST, David F., CHITTLEBOROUGH, G. & MAMIALA, Thapelo L.. Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, v. 24, p. 357-368, 2002.

VAN DRIEL, J.H., DE VOS, Wobbe, VERLOOP, Nico & DEKKERS, Hetty. Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. *International Journal of Chemical Education*, v. 20, n. 4, p. 379-372, 1998.

VAN DRIEL, Jan H. & VERLOOP, Nico. Teachers' knowledge of model and modeling in science. *International Journal of Science Education*, v. 21, p. 1141-1154, 1999.

VOSNIADOU, Stella. Mental Models in Conceptual Development. In L.Mangani, N. J.Nersessian & P.Thagard (eds.) *Model Based Reasoning in Scientific Discovery*. New York: Kluwer, 2002. p. 353-368.

WELLINGTON, Jerry. What is Science Education For? *Canadian Journal of Science, Mathematics & Technology Education*, v. 1, n. 1, jan., 2001.

WELLS, Malcom, HESTNES, David & SWACKHAMER, Gregg. A modeling Method for High School Physics Instruction. *American Journal of Physics*, v. 63, n. 7, p. 606-619, jul., 1995.

ANEXO 1

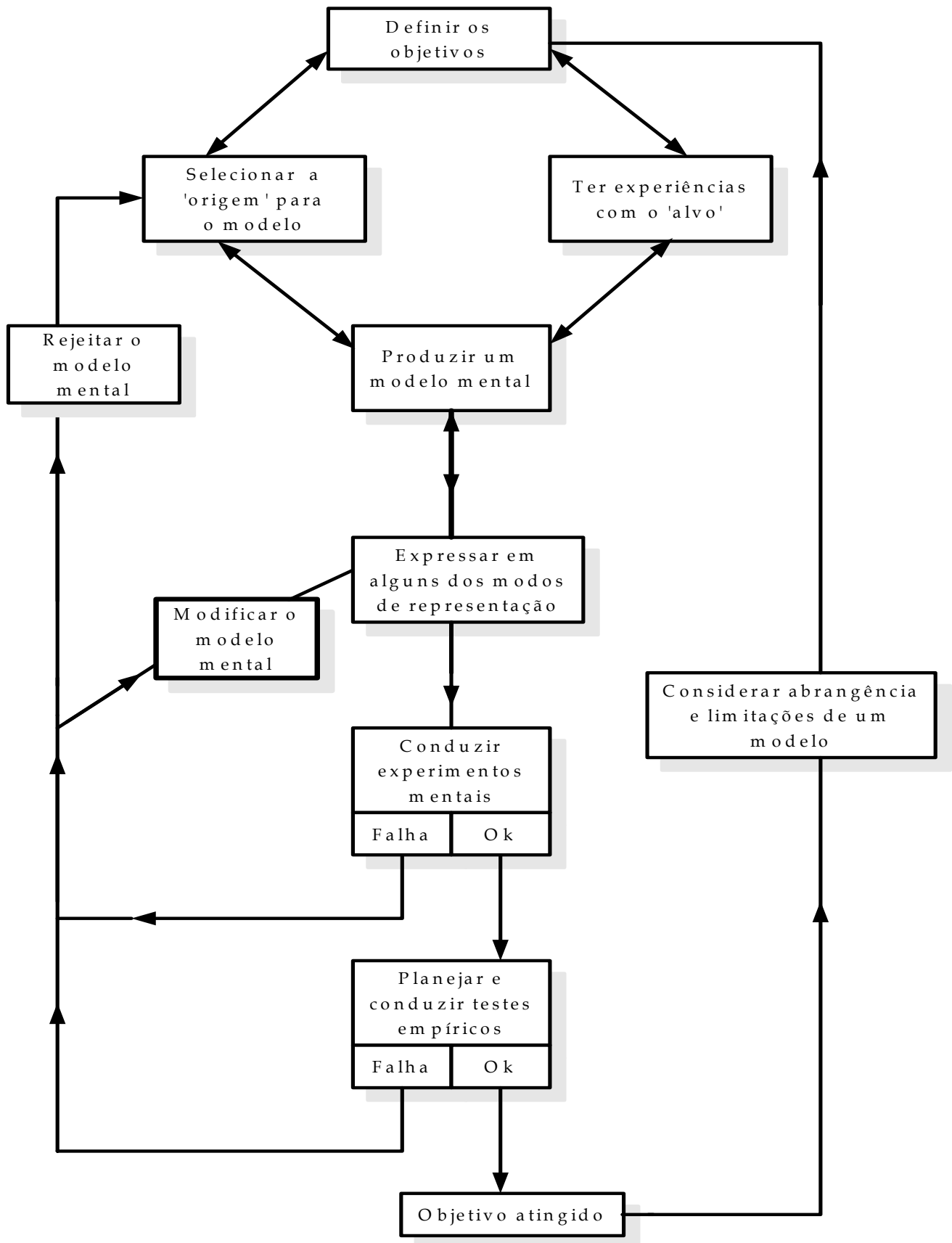


Diagrama 1: Modelo de Modelagem, segundo Justi e Gilbert (2002, p.371).