

COPY 138
PASTA Nº 138
Folhas
DFV F

Primo
Primo

Primo

MOBILIOS E EDUCACIÓN EM CIÊNCIAS

DOMINIQUE COLINVAUX
organizadora

MODELOS E EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS



UFPE / PUC-Rio
MUST / UFSC

7

APRENDENDO CIÊNCIAS ATRAVÉS DE MODELOS E MODELAGEM¹

John K. Gilbert & Carolyn J. Boulter

¹ Este artigo é uma tradução de *Learning science through models and modelling*, artigo que integra a coletânea *The International Handbook of Science Education*, organizada por B. Frazer & K. Tobin e publicada pela editora Kluwer.

12

Um modelo pode ser definido como uma representação de uma idéia, um objeto, um evento, um processo ou um sistema. O papel dos modelos e da modelagem na aprendizagem de ciências merece um enfoque próprio, e isso por várias razões. Em primeiro lugar, estes termos são usados de forma ubíqua no campo da Educação em Ciências, para descrever representações que variam de uma idéia individual passageira até objetos de grandes dimensões mantidos em museus. A diversidade de coisas representadas, a extensão e o grau das mudanças que ocorrem na formação das representações, assim como a variada natureza existencial dos modelos resultantes, asseguram que os significados dos processos envolvidos permaneçam obscuros e incertos. Há uma ampla variedade de modelos sobre a natureza e o status de modelos. Em segundo lugar os modelos, sendo mais acessíveis à percepção que teorias, desempenham um papel crucial na condução da investigação científica. Eles permitem mais facilmente que as conseqüências das teorias possam ser deduzidas e testadas experimentalmente. O anseio mais geral de proporcionar uma educação em ciências que esteja claramente relacionada com a condução da ciência aponta para a necessidade de enfrentar o tema da natureza dos modelos e da modelagem.

Em terceiro lugar, a perspectiva da psicologia cognitiva sobre aprendizagem, presente no campo da educação em ciências, faz referência à formação e desenvolvimento de modelos por um indivíduo inserido no contexto de um grupo social (Harre e Gillett 1994). Assim, a compreensão da aprendizagem em educação em ciências envolve, necessariamente, o entendimento da natureza dos modelos e da modelagem. Em quarto lugar, os modelos jogam um papel significativo no dia a dia de uma sala de aula (e.g. Treagust, Duit & Lindauer 1992). O interesse em promover processos de aprendizagem implica que este papel tem de ser explorado.

Os principais objetivos deste artigo são então discutir a palavra "modelo", quando usada em educação em ciências, e mostrar como modelos podem contribuir, e de fato contribuem, para a aprendizagem em sala de aula e em outros contextos.

13

APRENDIZAGEM EM SITUAÇÕES, NARRATIVAS E MODELOS

Uma ampla visão do construtivismo tem influenciado muito as percepções sobre ensino, aprendizagem e pesquisa em educação em ciências durante a década passada. Em uma versão do construtivismo que se baseia na perspectiva da 'cognição situada':

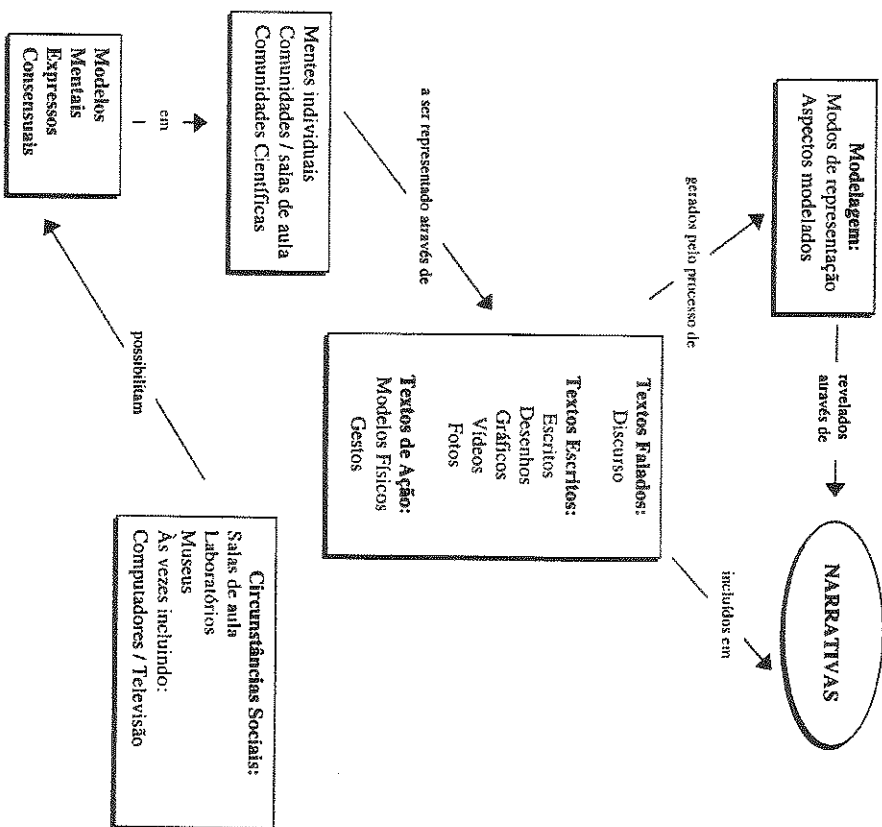
... aprendizagem é um processo de enculturação ou participação individual em práticas sociais organizadas, através do qual são desenvolvidos conhecimentos locais especializados, rituais, práticas e vocabulário. A inscrição das ações em interações locais com o ambiente não é mais um problema estranho, mas o recurso essencial que torna o conhecimento possível e as ações significativas. (Hemnessy 1993, p.2).

Nessa abordagem, portanto, a aprendizagem ocorre em situações particulares. Mas o que constitui uma 'situação'? Rodrigues e Bell (1995) usam a palavra 'contexto' salientando que, na literatura de educação em ciências, isso pode significar uma variedade de coisas, tais como a 'sala de aula', o 'ambiente de aprendizagem', a 'relevância de uma atividade'. Entretanto, o que é importante para eles é o significado pessoal ligado ao conhecimento novo ou já estabelecido, quando usado para compreender uma situação externa, física. Uma situação é, então, o ambiente externo específico que, pela atividade mental de um indivíduo que frequentemente age em um grupo, é transformado em contexto em um dado momento.

Quando uma situação é usada de forma deliberada para uma atividade educacional, quatro fatores permanecem os mesmos ao longo da atividade: o lugar onde acontece a atividade; o foco da atividade; sua finalidade educacional; e as pessoas envolvidas. Estes fatores permitem que um evento aconteça. A linguagem usada dentro das fronteiras de um evento é o texto do evento. Uma análise da participação no texto de um evento pode mostrar quem disse o quê para quem, como aquela pessoa respondeu e o que se seguiu depois. O texto contém uma série de narrativas, histórias compostas por uma ou mais pessoas para que outras prestem atenção. Um texto consiste de uma série de narrativas entrelaçadas; por exemplo, aquela produzida pelo professor para atender à demanda curricular de apresentação de conteúdos aos alunos, e aquelas produzidas pelos alunos individuais quando atribuem suas significações pessoais àquilo que está ocorrendo na sala de aula.

O texto de um evento educacional, habitualmente falado mas que frequentemente inclui um componente escrito significativo e, algumas

vezes, um elemento de ação física, pode ser analisado para revelar algumas narrativas que estão sendo produzidas. Este conjunto de relações é resumido na Figura 1.



Modelos constituem uma parte fundamental das narrativas de educação em ciências, sobretudo como consequência das várias tipologias que podem ser construídas a seu respeito. É possível diferenciar entre sistema-alvo (aquilo que existe na experiência coletiva e que é objeto da representação); modelo mental (um representação pessoal e privada de um alvo); modelo expresso (uma versão do modelo mental que é expressa por um indivíduo através da ação, da fala ou da escrita); modelo consensual (um modelo expresso que foi submetido a testes por

um grupo social, por exemplo pertencente à comunidade científica, e sobre o qual se concorda que apresenta algum mérito); e *modelo pedagógico* (um modelo especialmente construído e usado para auxiliar na compreensão de um modelo consensual).

Um *modelo* (de qualquer um dos tipos acima) de um *alvo* (a ser representado) é produzido a partir de uma *fonte* (algum outro objeto, evento ou idéia) por meio de *metáforas*, nas quais o alvo é visto, ainda que inicialmente e por pouco tempo, como sendo muito similar à fonte. Aceitando a concepção interativa de metáfora (Black 1962), os elementos que compõem a fonte são projetados sobre o alvo. Aquelles elementos que parecem apresentar um valor evidente para representar o alvo são modificados para ajustar-se às circunstâncias especiais do alvo, por meio de uma analogia (Hesse 1966; Thagard 1992).

O grande valor de muitos modelos é que eles possibilitam a visualização, ou uma maior facilidade de visualização, de idéias, objetos, eventos, processos ou sistemas que são complexos, ou em escalas diferentes daquilo que é normalmente percebido, ou abstratos - ou alguma combinação dessas três características. Isto é alcançado por uma simplificação do alvo (selecionando somente algumas entidades e relações para serem representadas); em alguns casos, por uma alteração de escala; e usando meios e mediações que são mais amplamente acessíveis. Como um dado modelo é inicialmente produzido com algum propósito específico, a seleção (e consequentemente, por implicação, a supressão) daquelas características do alvo que deverão ser representadas é altamente específica. No entanto, antes de explorar a contribuição que os modelos oferecem para a análise de narrativas, é necessário tratar de um conjunto de questões complexas, a saber: as relações entre 'modelo', 'teoria' e 'conceito'.

MODELO, TEORIA E CONCEITO

MODELO E TEORIA

Nagel (1987) tentou esclarecer essa distinção declarando que há

... três componentes em uma teoria: (1) um cálculo abstrato que é o esqueleto lógico do sistema explicativo e que 'define implicitamente' as noções básicas do sistema; (2) um conjunto de regras que de fato atribuem um conteúdo empírico ao cálculo abstrato, relacionando-o ao material concreto da observação e experimentação; e (3) uma

interpretação ou modelo para o cálculo abstrato, que fornece alguma substância para a estrutura do esqueleto, em termos de materiais mais ou menos familiares - visualizáveis. (p. 90).

Um modelo pode então ser visto como um intermediário entre as abstrações da teoria e as ações concretas da experimentação; e que ajuda a fazer previsões, guiar a investigação, resumir dados, justificar resultados e facilitar a comunicação. Nagel (1987, p. 110) sugere que, em algumas ocasiões, uma teoria e um modelo concomitante podem, juntos, servir como um modelo para o desenvolvimento de outra teoria com seu modelo. Por exemplo as leis de Newton e o modelo associado de bolas de bilhar foram as fontes a partir das quais foi derivada a teoria cinética e seu modelo de gases. Aqui o modelo é estabelecido ao mesmo tempo que a teoria. Em outras ocasiões apenas a teoria é estabelecida, por analogia com uma teoria existente. Nagel (19987, p. 111) cita o caso do reconhecimento por Maxwell da semelhança entre as estruturas matemáticas da teoria gravitacional e da teoria da condução de calor: o modelo foi desenvolvido mais tarde. Harré (1978) discute a relação entre uma teoria, o processo de produção de modelo e o modelo propriamente dito, relativamente à versão moderna da teoria de seleção natural de Darwin-Wallace. Essas relações precisam ainda ser melhor elaboradas.

Alguns estudos recentes investigam como a relação entre teoria e modelo é percebida por estudantes. A partir de um estudo baseado em entrevistas que focalizaram a compreensão da palavra "teoria", realizado na Inglaterra por Scott, Driver e Millar (1993) com 30 pares de estudantes em cada uma das idades de 9, 12 e 16 anos, pode-se inferir que: modelos são usados desde uma idade precoce; modelos atuam como um modo de compreensão mais clara das teorias; modelos formam uma ponte entre teoria e comportamento, possibilitando que previsões sejam geradas e testadas empiricamente; modelos podem ser transferidos para outros contextos. As pesquisas mostram que estudantes constroem narrativas sobre a natureza da ciência que são diferentes das narrativas de seus professores: é inevitável que a noção do que é um modelo faça parte desta divergência.

MODELOS E CONCEITOS

Assim como 'modelos', a noção de 'conceito' é amplamente usada em educação em ciências, novamente sem um acordo geral quanto à uma definição operacional. As idéias de Caroll (1962) sugerem que, para qualquer indivíduo, um conceito particular é: uma generalização abstrata que emerge de experiências com mais de um exemplo de um evento ou objeto; avaliado em termos de sua adequação relativa a um determinado propósito que o indivíduo tem; constantemente revisado por esse indivíduo; governado em sua natureza por experiências específicas que conduziram à sua formação; um entre muitos conceitos que podem existir, em uma população de pessoas, para um objeto ou evento particular.

A formação de um conceito é difícil de explicar a partir de uma linguagem de representação. O alvo de um conceito, aquilo que deve ser representado quando se forma o conceito, inclui os elementos que são percebidos como sendo comuns a uma variedade de objetos ou eventos. No entanto, como estas regularidades podem ser reconhecidas sem o uso do próprio conceito? Como a experiência pode existir, sem que seja reconhecida enquanto tal por meio de conceitos? Há duas possibilidades quanto às fontes de um conceito, isto é, quanto àquilo que fornece a base a partir da qual se deriva a representação. A fonte pode ser um outro conceito, que age como metáfora a partir da qual a experiência é reconhecida e manipulada. Ou a fonte pode residir entre os muitos elementos possíveis de uma experiência percebida globalmente, elementos que são comparados entre si até que se identifique elementos positivos e convincentes de analogia. Até mesmo em um ambiente social aparentemente homogêneo, como uma sala de aula disciplinada e com objetivos claros, o conceito formado por um dado estudante, acerca de um tópico específico de ensino, se diferencia do conceito socialmente validado que o professor está ensinando, assim como dos conceitos formados por outros estudantes — explicando-se assim a existência de 'concepções alternativas' (Gilbert & Watts 1983). Parece de fato que a noção de conceito envolve a formação de uma série de proposições enquanto que o modelo faz uso de uma série de imagens. Novas investigações em sala de aula se fazem assim claramente necessárias.

MODELOS EM DIFERENTES SITUAÇÕES

Em educação de ciências, os estudantes frequentemente se encontram em uma ou mais situações diferentes: na sala de aula convencional, com computadores, televisão educativa (normalmente na forma de vídeo), em museus (como também jardins zoológicos e galerias), no meio ambiente natural externo etc. Cada estudante construirá uma narrativa para cada evento em uma determinada situação. Se os eventos que um estudante encontra são intencionalmente planejados pelo professor, de modo a tratar de assuntos semelhantes ou relacionados entre si, então as narrativas construídas nas várias situações interagirão e produzirão uma narrativa abrangente sobre o fenômeno que está sendo estudado. Modelos de qualquer tipo - produzidos, expressos ou encontrados em uma situação - servem como base para a construção de narrativas relacionadas com a situação experimental vivenciada pelos sujeitos e também com as situações subsequentes. Por exemplo, alunos estudando 'as aterrissagens da Apollo na Lua' na sala de aula construirão um modelo mental do que aconteceu e das idéias científicas e tecnológicas aí envolvidas. Este modelo poderá servir para interpretar o que é mostrado em um vídeo sobre aterrissagens e, ao mesmo tempo, será modificado por esta experiência. Este modelo mental modificado poderá ser então usado, por exemplo, em um museu de ciência, sendo passível de novos desenvolvimentos face a exposições que tratam dos objetos envolvidos, ou de réplicas desses objetos, ou dos modelos consensuais relativos a estes temas.

Uma compreensão mais plena de como os modelos contribuem para a integração da aprendizagem em diferentes situações só pode surgir de uma investigação mais clara do que acontece em cada uma destas situações.

MODELOS E NARRATIVAS NA SALA DE AULA

As narrativas da sala de aula convencional se relacionam com modelos e modelagem de três maneiras diferentes, que podem envolver os aspectos abaixo mencionados.

APRENDIZAGEM DE MODELOS CONSENSUAIS

Professores às vezes constroem narrativas em torno dos modelos consensuais mais importantes que cientistas produziram no passado. Isto é feito não somente pelo próprio valor que estes modelos têm, mas também porque eles propiciam um modo eficiente de aprendizagem de múltiplos 'fatos' científicos específicos.

As narrativas, que são usadas em diversos eventos para explicar um dado fenômeno aos estudantes, frequentemente fazem uso dos modelos consensuais que se encontram disponíveis ao longo do processo de sua invenção histórica por cientistas. Assim, em química, a relação estrutural entre ácido maleico e ácido fumárico é ensinada a partir de uma recapitulação dos modelos consensuais, na ordem em que eles foram inventados (Hoeve-Brouwer & de Vos 1994). Muitas vezes esta 'narrativa recapitulativa' é pouco precisa, uma vez que frequentemente não são discutidas nem a narrativa do desenvolvimento de um determinado modelo, nem a narrativa do seu abandono na pesquisa científica.

Como os modos de experimentar um fenômeno são muito diversos, é inevitável que os estudantes construam narrativas próprias, individuais e talvez divergentes, qualquer que seja a narrativa do fenômeno elaborada pelo professor. A questão está em compreender a diferença entre as narrativas do professor e do aluno. Se um modelo consensual impróprio aos propósitos do professor é apresentado aos estudantes, eles poderão construir narrativas não previstas ou incompletas do fenômeno. Mayer (1989) propõe seis critérios que poderiam ser aplicados para selecionar um modelo consensual a ser ensinado. São eles que o modelo consensual deveria ser:

- **Completo:** um modelo satisfatório é aquele no qual todos os elementos estruturais essenciais para seu uso foram incluídos, bem como todas as informações necessárias para mostrar as relações entre eles.
- **Coerente:** o nível de detalhe deve estar de acordo com as necessidades dos estudantes.
- **Concreto:** as relações, a estrutura e a ação de todas as partes do modelo devem ser óbvias para os estudantes.

● **Conceitual:** o modelo deve dar uma indicação clara, por meio de previsão, de como a teoria se aplica ao sistema alvo.

● **Correto:** o escopo e as limitações do modelo, em sua representação do sistema alvo, devem ser explicitados.

● **Cuidadoso:** o modelo deve usar um vocabulário apropriado e claro.

Entendemos que se deve acrescentar um sétimo critério:

● **Correspondente:** o modelo deve usar um número razoável de analogias baseadas em partes diferentes da entidade que serve de fonte, de graus variados - desde 'elevado' até 'imperceptível' - de similaridade.

Modelos pedagógicos desenvolvidos com propósitos específicos são frequentemente usados por professores e livros didáticos para facilitar o caminho intelectual dos estudantes até a compreensão de modelos consensuais, e até a construção de uma 'narrativa apropriada'. Este caminho consiste de um lado da seleção de uma fonte conhecida dos estudantes, a partir da qual se possa construir um modelo pedagógico e, do outro, do uso deste modelo pedagógico como fonte a partir da qual se desenvolva um modelo mental aceitável do modelo consensual. Embora o uso de tais modelos pedagógicos varie amplamente de tópico para tópico e entre professores, é possível identificar casos de boa prática na sua construção (Treaugust, Duit, Joslin & Lindauer 1992) e na sua utilização (Dagher 1995a; 1995b). Assim um bom modelo pedagógico é aquele que:

● contém características principais em número semelhante às características principais do modelo consensual, havendo um grau de similaridade tal que equivalências de significado possam ser percebidas prontamente;

● serve como uma introdução a um modelo consensual que os estudantes ao mesmo tempo acreditam ser importante mas acham difícil de entender;

● está baseado em uma fonte com a qual os estudantes estão completamente familiarizados, de preferência a nível prático e/ou de manuseio experimental;

- pode ser usado em combinação com outros modelos pedagógicos relativos a um mesmo modelo consensual.

As condições de elaboração de uma narrativa envolvendo um modelo pedagógico ou consensual do tipo que o professor pretende aumentar se o aluno responder ao seguinte conjunto de perguntas:

- qual é a fonte do modelo pedagógico/consensual ?
- quais são os elementos principais da fonte e quais são as relações entre eles?
- que aspectos (estrutura, comportamento, mecanismo) da fonte foram usados na formação do modelo?
- quão forte é a similaridade entre a fonte e o alvo em relação a estes aspectos?
- que aspectos da fonte não foram usados na formação do modelo?
- que aspectos do alvo não estão sendo representados no modelo?
- que "códigos de interpretação" da representação específica estão sendo usados?

Em resumo, o estudante deve poder formar uma visão do escopo e limitações do modelo enquanto representação (Glynn 1991; Treagust, Duit, Joslin & Lindauer 1992; Duit 1991; Dagher 1994). Se o modelo é apresentado em forma de texto (Theale & Treagust 1995), os estudantes se beneficiarão de apoio específico na formação de um modelo mental (Newton 1995). Há evidências de que os estudantes podem gerar modelos que são, de fato, modelos pedagógicos próprios (Wong 1993; Cosgrove 1995). Eles talvez tenham que fazê-lo, a menos que o professor, reconhecendo que há um problema de compreensão (Abell & Roth 1995), produza um modelo pedagógico. Enfim, o tema dos modelos pedagógicos, também conhecidos como analogias pedagógicas, alcançou tal significado que o *Journal of Research in Science Teaching* dedicou a ele um número especial (Lawson 1993).

APRENDIZAGEM SOBRE MODELOS

As narrativas que se exige que os estudantes construam envolvem aprendizagens relativas a diversos aspectos: códigos de interpretação

dos modelos consensuais; escopo e limitações dos modelos de todos os tipos; papel dos modelos expressos na metodologia científica; e como foram formados os vários modelos de um determinado fenômeno, como evoluíram, e porque foram substituídos por outros no processo de desenvolvimento científico.

A evidência disponível sugere que é lento o desenvolvimento da compreensão da natureza de 'um modelo'. Grosslight, Unger, Jay & Smith (1991) entrevistaram estudantes de 12-13 e 16-17 anos, como também 'especialistas' (professores universitários) nos E.U.A. Eles identificaram três níveis de pensamento sobre a formação, natureza e utilização de modelos. No nível 1, modelos foram pensados como brinquedos ou cópias da realidade, podendo estar incompletos porque o seu autor desejou que assim fosse. No nível 2, modelos foram pensados como produzidos conscientemente para um propósito específico, com alguns aspectos de realidade sendo omitidos, suprimidos, ou enfatizados. A ênfase ainda está na realidade e na sua modelagem e não nas idéias retratadas. No nível 3, um modelo é visto como sendo construído para sustentar e desenvolver idéias, então como cópia da realidade. O modelador tem um papel ativo no processo de modelagem, manipulando e testando o modelo para desenvolver idéias. Embora ocorra uma mudança do nível 1 para o nível 2 com o aumento da idade da amostra, nenhum estudante demonstrou estar no nível 3 de apreciação de modelos, sendo este de exclusividade dos 'especialistas' (Grosslight et al 1991). Dada esta divergência nas narrativas relativas à noção de modelo, não é surpreendente o fato dos estudantes construírem narrativas, envolvendo modelos específicos, que divergem muito dos modelos dos seus colegas tanto quanto do professor. Resultados semelhantes foram encontrados entre estudantes universitários na África do Sul (Smit & Finegold 1995). Parece portanto claramente possível que a compreensão dos estudantes sobre o significado da palavra 'modelo' possa avançar através do ensino específico desta questão, seja qual for a forma de tal ensino. Quando se faz tal tentativa, há evidências de sucesso (Raghaven & Glaser 1995).

APRENDENDO A MODELAR

Para a perspectiva cognitiva sobre aprendizagem, é auto-evidente a necessidade, para o cientista individual (e consequentemente para o estudante de ciências), de formar modelos mentais em relação a um fenômeno e de compartilhá-los, enquanto modelos expressos, com

outros colegas. Uma aplicação das abordagens construtivistas na educação em ciências (Gilbert 1993) sugere que a capacidade de estudantes para formar e expressar modelos mentais progrediria se lhes fossem proporcionadas oportunidades explícitas para que tomassem consciência dos seus modelos mentais e tivessem chance de expressá-los. Quando tais oportunidades são oferecidas, há evidências de êxito (Paton 1996). Estas circunstâncias sustentam a construção de narrativas que ligam a experiência anterior à aprendizagem presente.

A variedade ampla de trabalhos práticos realizados em sala de aula se aproxima do tema: 'aprendendo a modelar'. Simon & Jones (1992) produziram uma tipologia para o trabalho prático, que envolve três dimensões:

Definição do problema: Pelo professor Pelos estudantes

Métodos escolhidos: Pré-definidos Selecionados

Chegada à solução: Uma solução possível Várias soluções possíveis

Uma abordagem que enfatizasse a confirmação de modelos consensuais se situaria do lado esquerdo deste *continuum*. Consideradas em conjunto, as afirmações do lado direito dariam suporte à produção e articulação de modelos mentais acerca de fenômenos que fossem de interesse genuíno dos estudantes; também possibilitariam predições, assim como o planejamento, e a realização de investigações para testá-las; e, finalmente, sustentariam a revisão dos modelos à luz destas mesmas investigações. Este 'trabalho aberto', como o chamam Simon & Jones (1992), se aproxima bastante do modo pelo qual a ciência parece ser realmente conduzida e também de uma narrativa realista da ciência. Talvez seja possível realizar algum 'trabalho aberto' dentro da 'camisa de ferro' do horário escolar e dos recursos limitados dos laboratórios escolares, até mesmo aqueles melhor equipados (Gott & Duggan 1995). Certamente existe espaço, no contexto das atividades extra-curriculares estruturadas, para a introdução de pesquisas holísticas (Tyler & Swaton 1992), particularmente quando tais atividades estão associadas a esquemas de premiação nacional, como olimpíadas, feiras de ciências, etc (Watts & Oeste 1991).

MODELOS E NARRATIVAS EM OUTROS CONTEXTOS

COMPUTADORES

Computadores podem ser integrados a qualquer sala de aula mas seu uso, individual e em pequenos grupos, é mais provável entre estudantes de ciências, tanto na escola como em outros locais como por exemplo em casa. Já são publicados livros que combinam abordagens teóricas e aplicações práticas relativas ao uso de computadores na educação (Scaife & Wellington 1993; Mellor, Biss, Booian, Ogborn & Tompsett 1994). Com relação a modelos e modelagem, os computadores podem ser usados de dois modos distintos no campo da educação em ciências. O primeiro é o modo exploratório, conhecido como simulação. O segundo é o modo expressivo, também conhecido como modelagem.

No modo exploratório, apresenta-se aos estudantes um modelo definido, já completamente programado no software. A tarefa do aluno é 'rodar' a simulação, entrando com números ou outra informação, para que o programa processe estes dados de acordo com o modelo e produza algum resultado. Exemplos incluem: cópias diretas de atividades de laboratório existentes; simulações de processos industriais, por exemplo a produção de ácido sulfúrico; simulações de processos que são excessivamente perigosos, muito lentos ou muito rápidos, muito grandes ou muito pequenos, para serem experimentados diretamente no ambiente escolar; simulações de entidades não-existentes, por exemplo superfícies sem atrito; simulações do comportamento de modelos específicos, por exemplo o modelo de onda da luz.

O modo exploratório está na extremidade conservadora do *continuum* de tipos de atividade que envolvem modelos e modelagem na educação em ciências. Neste caso, o objetivo se limita a mostrar como um determinado modelo consensual se comporta. Os estudantes normalmente não sabem o que o programa faz com os dados introduzidos, e freqüentemente também não sabem o que é de fato o modelo. Nestas circunstâncias, eles não tem como avaliar o escopo e as limitações do modelo e não são levados à idéia mais adequada de que qualquer modelo é uma representação idealizada, podendo inclu-

sive vir a confundir o modelo com a realidade). Em resumo, a probabilidade é muito baixa de que as narrativas dos estudantes sobre modelos e sobre seu uso estejam próximas às dos seus professores. Além disso, as narrativas efetivamente construídas podem distorcer experiências futuras.

No modo expressivo de uso do computador – conhecido como modelagem - os softwares são livres de conteúdo. O estudante pode assim especificar quais são as variáveis e, dadas as condições impostas pelo software, investigar como essas variáveis podem estar relacionadas. Algumas aplicações modelam processos de mudança em um sistema: por exemplo, como mudam as relações quantitativas predador-presa em circunstâncias ambientais diversas; como seqüências de decaimento nuclear ocorrem em termos do número de átomos envolvidos etc. Outras aplicações focalizam as operações contidas no modelo: como por exemplo, o que deve ser feito para alcançar um resultado específico (Scale & Wellington 1993). Este uso do computador enfatiza claramente a produção de modelos mentais pelos estudantes, sua articulação e uso para fazer previsões e como eles evoluem para modelos consensuais. Ao exigir que se considerem os sistemas e seus comportamentos, este uso dos computadores requer dos estudantes a formação e utilização de modelos mentais. As narrativas construídas serão assim mais integradas internamente e mais interligadas com a experiência anterior do estudante e com as narrativas do professor.

Ambos os modos de uso do computador na área de modelos e modelagem podem ser quantitativos ou qualitativos. A tradição quantitativa supõe a possibilidade de realizar medições independentes, que podem ser colocadas em fórmulas e calculadas. Inicialmente, este era o modo dominante de uso do computador. O modo qualitativo envolve a utilização de fatos e informações apresentados verbalmente, enquanto dados introduzidos no programa segundo regras gerais e depois submetidos a procedimentos racionais (Tompsett 1994). A tradição qualitativa possibilita o estudo de problemas abertos, de modo a explorar o papel dos valores e juízos. Quando o desenvolvimento do uso qualitativo no modo expressivo alcançar o nível de sofisticação do uso quantitativo no modo exploratório, os computadores poderão oferecer um contexto amplo para explorar muitos aspectos de modelos e modelagem e construir uma ampla gama de narrativas.

TELEVISÃO

São poucos os estudos acerca da contribuição da televisão para a construção de narrativas em educação em ciências. Priest (1993) entrevistou, individualmente e em grupos, um total de 47 estudantes de 14 e 15 anos bem como seus professores, em 10 escolas na Grã-Bretanha. As turmas foram observadas quando assistiam, durante uma aula regular de ciências, a um de três vídeos de ciência frequentemente utilizados; as reações dos alunos foram obtidas imediatamente após a apresentação de vídeo. Os vídeos não foram elaborados a partir da perspectiva de modelos e modelagem, nem tampouco consideraram a construção de narrativas *per se*, finalmente a investigação de Priest (1993) não abordava estes temas explicitamente. No entanto, quando se assiste os vídeos mencionados e se re-interpreta os dados, é possível se chegar a várias deduções. Os vídeos de fato fazem uso de uma ampla variedade de modelos como, por exemplo, a imagem de um equipamento científico ou de uma planta industrial, seguida por um diagrama de seus componentes apresentados estática e dinamicamente e, finalmente, por um modelo material que evidencia o modo de operação. Os vídeos normalmente não incluíam um modelo simbólico (matemático) dos processos e resultados do uso do equipamento ou da planta, uma omissão apontada e criticada pelos estudantes. A construção de modelos mentais era sustentada pela apresentação de longas seqüências de operações cuidadosamente selecionadas e elaboradas. A aprendizagem baseada em modelos apoiou-se no uso de vários tipos de modelos consensuais e pedagógicos, relativos a um determinado fenômeno. Além disso, era devidamente enfatizada a necessidade de avaliar o alcance e as limitações de um determinado modelo, demonstrando seu uso em uma ampla variedade de contextos, pessoal, social, e escolar. Aprendizagem sobre modelos foi até certo ponto facilitada pela apresentação de uma ampla gama de experiências simuladas. No entanto, não era solicitado aos estudantes que fizessem previsões a partir de seus modelos mentais. Tampouco se lhes pedia que observassem fenômenos e construíssem explicações usando modelos consensuais. Ainda assim, muitos estudantes o fizeram, após a aula, a partir de sua própria iniciativa. Já o processo de aprender a modelar foi enfatizado pela solicitação de formar modelos mentais, de tornar consciência destes modelos, e de desafiá-los; também foi encorajado pela ênfase geral dada à explicação, pela construção progressiva de modelos e pela exigência de transferir modelos a uma ampla gama de contextos.

MUSEUS

Museus incluem modelos consensuais e pedagógicos (com um amplo espectro de interações), objetos (originais e réplicas), e textos. Apesar disso, ainda não temos uma idéia clara da relevância, para a aprendizagem, dos textos e dos diagramas - estes últimos constituindo um grupo variado de representações que podem ser vistas como formas de modelos (Lowe 1993) - nem tampouco dos modelos materiais estáticos ou semi-estáticos, tanto consensuais como pedagógicos. Na perspectiva da cognição situada, a exposição de museu que melhor sustentaria um processo de aprendizagem trataria de tópicos específicos, em particular aqueles que se sabe serem significativos para os visitantes.

Os resultados de pesquisa disponíveis (Priest & Gilbert 1994) sugerem que estudantes que visitam museus aprendem quando interagem entre si, com o professor e com assistentes do museu, quando interagem com o material em exposição e quando relacionam experiência e conhecimentos anteriores. Exposições visualmente estimulantes, embora possam chamar a atenção, não sustentam esta atenção nem geram aprendizagem se os alunos não conseguirem, de um lado, 'humanizar' de algum modo os materiais expostos, por exemplo manipulando-os, e se não conseguirem, de outro lado, obter respostas para suas perguntas pessoais através da construção de uma narrativa pessoal ou coletiva. Objetos e modelos estáticos podem preencher estes critérios, mas nem sempre o fazem. Exposições interativas, embora interessantes, requerem do usuário uma participação considerável de modo a contribuir para a aprendizagem no momento da visita. Um equilíbrio deve ser alcançado entre a interação com as exposições e a interação com outros estudantes. Textos só são lidos quando absolutamente necessário e, assim mesmo, de modo superficial: uma exposição que usa cores ousadas parece ser o formato mais bem sucedido para chamar a atenção e provocar interações, mas não os sustenta.

MODELOS, NARRATIVAS E ARGUMENTAÇÃO

Em ciências e em educação em ciências, a produção de narrativas acerca de um fenômeno envolve o uso de argumentos, nos planos intra- e inter-pessoal, particularmente quando estão sendo construídos e testados modelos (Sutton 1992). Boulter e Gilbert (1995) identificaram

três formas de argumentação verbal que podem ser usadas, em proporções variadas e em diferentes momentos, no contexto educacional.

No argumento "didático", o propósito do professor é transmitir conhecimentos consolidados aos estudantes que são, em grande medida, receptores passivos. Nas situações em que esta forma é usada - e isso ocorre provavelmente na maioria das aulas de ciências em muitas escolas secundárias - a ênfase relativamente a modelos e modelagem será colocada no ensino de modelos consensuais, seja diretamente, seja por meio de modelos pedagógicos. O foco estará na narrativa do professor: os estudantes não são incentivados a estar atentos para suas próprias narrativas pessoais.

No argumento 'sociático', o professor faz perguntas específicas aos estudantes, antecipando que será capaz de selecionar e usar respostas particulares para estabelecer verdades pré-determinadas: esta é a base dos chamados métodos de 'descoberta'. Quando este modo é utilizado, os alunos são claramente encorajados a formar modelos mentais, mas o conteúdo e uso destes serão governados em grande parte pelos aportes e avaliações do professor. Estudantes serão 'guiados', frequentemente em alta velocidade, em direção a modelos consensuais. Novamente, a construção das narrativas pelos estudantes será marginalizada.

No argumento 'dialogico', por outro lado, a condução da discussão é compartilhada pelo professor com os estudantes. O professor age principalmente para assegurar a adesão a regras de participação bem como a manutenção da atenção sobre o assunto em discussão. Quando esta forma é usada, em geral por professores claramente comprometidos com uma visão construtivista do conhecimento e da aprendizagem, a formação de modelos mentais, e sua explicitação com o fim de testá-los, ocupam um lugar central no processo pedagógico. Nestes circunstâncias, é mais provável que os estudantes venham a expressar seus próprios modelos e a construir suas próprias narrativas acerca dos temas tratados na aula.

O equilíbrio no uso destas três formas de argumentação na sala de aula determinará o papel de modelos mentais, expressos, consensuais e pedagógicos nos processos de educação em ciências. Isto, por sua vez, definirá a avaliação de professores e alunos quanto à natureza, alcance e limitações dos vários tipos de modelos.

DISCUSSÃO

Sendo este um campo eclético que faz uso da história, filosofia e sociologia da ciência, como também da psicologia cognitiva, é inevitável a necessidade de aprofundar a investigação sobre modelos e modelagem em educação em ciências. Alguns estudos serão teóricos, por exemplo aqueles que tratam da relação entre os significados de 'modelo', 'teoria' e 'conceito'. Outros irão depender de investigações realizadas nas salas de aula, acerca das conseqüências práticas das idéias acima esboçadas.

INVESTIGAÇÕES EM SALA DE AULA

Este artigo efetivamente aponta para um conjunto de investigações voltadas para a sala de aula, algumas das quais estão listadas abaixo na forma de perguntas:

- como são formados e usados modelos expressos em situações 'abertas' de aprendizagem?
 - que relações existem entre os padrões de argumentação usados no discurso de sala de aula, as estruturas narrativas associadas a estes padrões, e a natureza dos modelos expressos que os estudantes desenvolvem?
 - que implicações tem, para o desenvolvimento e a modificação de modelos mentais, a construção de 'narrativas ampliadas' para contextos diversos?
 - que implicações tem uma abordagem histórica recapitulacionista no ensino de modelos consensuais, para a compreensão dos estudantes acerca da natureza de ciência?
 - que impacto o uso de modelos pedagógicos particulares, que visam facilitar a compreensão dos estudantes relativamente a um dado modelo consensual, tem sobre o desenvolvimento de uma compreensão de modelos mais complexos, freqüentemente posteriores do ponto de vista histórico, acerca do mesmo fenômeno?
- E, por último, a pergunta talvez mais importante:
- o que pode ser feito para ajudar os estudantes a adquirir um modelo mental aceitável do tema dos 'modelos'?

PRÁTICAS EDUCACIONAIS

Se as perguntas de pesquisa acima esboçadas forem abordadas em colaboração com os professores, será possível elaborar uma proposta educacional na perspectiva dos modelos e da modelagem, de melhor qualidade. Uma compreensão dos vários significados atribuídos à palavra 'modelo' (mental, expresso, consensual, pedagógico) possibilitará uma avaliação mais clara da contribuição de modelos e modelagem para o ensino e a aprendizagem. Isto, por sua vez, permitirá o desenvolvimento e integração de atividades relacionadas a modelos em uma ampla variedade de situações (sala de aula, museu, computadores, televisão, o meio ambiente). O uso de um leque mais abrangente de formas de representação (gestos, fala, desenho, escrita e outras formas simbólicas como a matemática) levará a uma maior diversidade de formas narrativas.

Acreditamos que medidas como estas deverão contribuir de modo significativo para melhorar o campo da educação em ciências, principalmente em sua dimensão cognitiva.

BIBLIOGRAFIA

- Abell, S.; Roth, M. (1995) Reflections on a fifth-grade science lesson: making sense of children's understanding of scientific models. *International Journal of Science Education*, 17, 59-74.
- Black, M. (1962) *Models and Metaphors*. Ithaca (NY), Cornell University Press.
- Boulter, C. & Gilbert, J. (1995) Argument in science education. In: Costello, P. & Mitchell, S. (Eds.) *Competing and Consensual Voices*. London, Multilingual Matters (84-94).
- Carroll, J. (1962) Words, meanings, and concepts. *Harvard Educational Review*, 178-202.
- Cosgrove, M. (1995) A study of science-in-the-making as students generate an analogy for electricity. *International Journal of Science Education*, 17, 295-310.
- *Dagher, Z. (1994) Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78, 577-600.
- †Dagher, Z. (1995a) Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science teaching. *Science Education*, 79, 295-312.
- †Dagher, Z. (1995b) Analysis of analogies used by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 259-270.
- ‡Duit, R. (1991) On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649-72.
- Gilbert, J.K. & Watts, D.M. (1983) Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10, 61-98.
- ⓂGilbert, J.K. (Ed.) (1993) *Models and Modelling in Science Education*. Hatfield, Association for Science Education.
- Glynn, S. (1991) Explaining science concepts: a teaching-with-analogy model. In: Glynn, S.; Yeany, R. & Britton, B. (Eds.) *The Psychology of Learning Science*. Hillsdale (N.J.), Erlbaum (219-240).
- Gott, R. & Duggan, S. (1995) *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham, Open University Press.
- *Grosslight, L.; Unger, C.; Jay, E.; Smith, C. (1991) Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 799-822.
- Harré, R. (1978) *Principles of Scientific Thinking*. London, McMillan.
- Harré, R.; Gillett, G. (1994) *The Discursive Mind*. London, Sage.
- Hennessy, S. (1993) Situated cognition and cognitive apprenticeship. *Studies in Science Education*, 22, 1-41.
- ‡Hesse, M. (1966) *Models and analogies in science*. London, Sheen and Ward.
- ⓂHoewe-Brouwer, G.; de Vos, W. (1994) Chemical bonding or chemical structure? In: Schmidt, H.J. *Problem solving and misconceptions in chemistry and physics*. Hong Kong, International Council of Associations for Science Education (238-245).
- ⓂLawson, A. (1993) The role of analogy in science and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1211-1348.
- Lowe, R. (1993) *Successful instructional diagrams*. London, Kogan Page.
- Mayer, R. (1989) Models for understanding. *Review of Educational Research*, 59, 43-64.
- ^{Smith, C.} Mellor, H.; Bliss, J.; Boothan, R.; Ogborn, J.; Tompsett, C. (Eds.) (1994) *Learning with artificial worlds: Computer based modelling in the curriculum*. London, Falmer.
- Nagel, E. (1987) *The Structure of science*. Indianapolis, Hackett.
- Newton, D. (1995) Support for understanding: discourse which aids the construction of a functional mental model of causal situations. *Research in Science and Technology Education*, 13, 109-122.
- Paton, R. (1996) On an apparently simple modelling problem in biology. *International Journal of Science Education*, 18, 55-64.
- Priest, M. (1993) Learning science from television in the classroom: A case study of the interaction between the science message, the message of the medium, the pupil, and the teacher. Unpublished Ph.D. thesis, Reading, University of Reading.
- Priest, M. & Gilbert, J.K. (1994) Learning in museums: situated cognition in practice. *Journal of Education in Museums*, 15.

- Raghaven, K. & Glaser, R. (1995) Model-based analysis and reasoning in science: The MARS Curriculum. *Science Education*, 79, 37-62.
- Rodrigues, S.; Bell, B. (1995) Chemically-speaking: a description of student-teacher talk during chemistry lessons and building on students' experiences. *International Journal of Science Education*, 17, 797-809.
- Scatte, J. & Wellington, J. (1993) *Information technology in science and technology education*. Buckingham, Open University Press.
- Scott, P.; Driver, R.; Leach, J.; Millar, R. (1993) *Students' understanding of the nature of science: Working Papers 1-11*. Leeds, Children's Learning in Science Research Group/ University of Leeds.
- Simon, S. & Jones, A. (1992) *Open work in science*. London, Centre for Educational Studies, King's College, University of London.
- Smit, J. & Finegold, M. (1995) Models in physics: perceptions held by prospective physical science teachers studying at South African universities. *International Journal of Science Education*, 17, 621-634.
- Sutton, C. (1992) *Words, science and learning*. Buckingham, Open University Press.
- Theale, R. & Treagust, D. (1995) Analogies in chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, 17, 783-797.
- * Thagard, P. (1992) Analogy, explanation and education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 537-544.
- Tompsett, C. (1994) An introduction to qualitative modelling. In: Mellor, H.; Bliss, J.; Boothan, R.; Ogborn, J.; Tompsett, C. (Eds.) (1994) *Learning with artificial worlds: Computer based modelling in the curriculum*. London, Falmer (145-152).
- * Treagust, D.; Duit, R.; Joslin, P.; Lindauer, I. (1992) Science teachers' use of analogies: observations from classroom practice. *International Journal of Science Education*, 14, 413-422.
- Tyler, R. & Swatton, P. (1992) A critique of Attainment Target 1 based on case studies of students' investigations. *School Science Review*, 74, 21-38.
- Watts, D.M. & West, A. (1992) Progress through problems, not recipes for disaster. *School Science Review*, 73, 57-64.
- Wong, E. (1993) Self-generated analogies as a tool for constructing and evaluating explanations of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 367-380.

MODELOS: UMA ANÁLISE DE SENTIDOS NA LITERATURA DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS¹

Sonia Krapas, Glória Queiroz, Dominique Colinvaux, Creso Franco & Fatima Alves

¹ Uma versão preliminar deste trabalho foi apresentada no I ENPEC/ Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, em novembro de 1997, em Águas de Lindóia, SP. O trabalho foi depois publicado na revista *Investigações em Ensino de Ciências*, 1997, 2 (3), e contou com apoio financeiro do CNPq.