

**MODELOS: UMA ANÁLISE DE SENTIDOS NA LITERATURA DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS**

**(Models: an analysis of meanings in the literature on research in science education)**

**Sonia Krapas**

**Glória Queiroz**

**Dominique Colinviaux**

(UFF)

**Creso Franco**

(PUC-RIO)

**Resumo**

Tema dos modelos contribui para uma reflexão psicológica inovadora sobre a cognição humana. O mesmo tema tem aparecido também nas pesquisas voltadas para a educação em ciências, com frequência crescente, mas com sentidos diversos. Assim é que o uso do termo modelo, nas suas acepções diversas, é um interessante tema de investigação e, neste trabalho, delineamos um quadro dos usos e sentidos de modelos na literatura internacional de educação em ciências. Partindo de uma definição preliminar de modelo como uma representação de uma idéia, objeto, evento, processo ou sistema, analisamos uma amostra de quatro periódicos de língua inglesa, com penetração internacional e foco exclusivamente em pesquisa em educação em ciências, no período de 1986 a 1996 e elaboramos um sistema de categorias relativas aos sentidos de modelos nesta literatura. As categorias de modelo mental, modelo consensual, modelo pedagógico, meta-modelo e modelagem como objetivo educacional são então analisadas, com o objetivo de mostrar sua evolução com o tempo. A discussão de resultados aponta para tendências presentes e futuras, entre as quais se destaca a busca de novos referenciais teóricos para, de um lado, compreender e explicar os processos de ensino-aprendizagem de ciências (remetendo às categorias de modelo mental e meta-modelo) e, de outro, desenvolver e implementar estratégias pedagógicas (o que se evidencia na categoria modelagem como objetivo educacional).

**Palavras-chave:** modelos, ensino, ensino de ciências, cognição.

**Abstract**

The subject *models* contributes towards an innovative psychological reflection on human cognition. This subject has appeared frequency in science education research studies, but with different meanings. Thus, the use of the term *model*, in its distinct meanings, is an interesting research topic. In this paper we outline a table of the uses and meanings of *models* in the international literature in science education. Starting with a preliminar definition of *model* as a representation of an idea, object, event, process or system, we analyze a sample of four journals published in English, with international circulation, focusing only on research in science education, from 1986 to 1996, and we elaborated a system of categories regarding the meanings of *models* found in this literature. The categories *mental model*, *meta-model* and *modeling as instructional goal* are then examined with the purpose of showing their time evolution. The discussion of the findings points towards present and future trends, which emphasize, the search for new theoretical frameworks, in order to understand and explain the teaching and learning process in science education (directing to the *mental model* and *meta-model* categories) and, on the other hand, to develop and implement pedagogical strategies (that appears in the category *modeling as instructional goal*).

**Key-words:** models, teaching, science education, cognition.

## **Introdução**

O tema dos modelos contribui para uma reflexão inovadora sobre a cognição humana. Em particular, o estudo de modelos mentais tem originado uma perspectiva de investigação sobre o raciocínio imagístico e analógico (Nersessian 1992) que evidencia a dimensão figurativa, em oposição à versão operativa e formal - proposta principalmente por Piaget - do funcionamento cognitivo. Está em jogo nesta discussão a questão da representação e de como a concebemos (Franco et al. 1997; Johnson-Laird, 1983). Na literatura de educação em ciências, o termo modelo aparece com frequência mas assume diversos sentidos. O uso do termo, nas suas diferentes acepções, é portanto um tema necessário de investigação e nosso trabalho tem o propósito de traçar um quadro do uso e dos sentidos de modelo na literatura internacional em educação em ciências. Começaremos por delinear as principais características e resultados das pesquisas que tratam de modelos na educação em ciências: fazemos isso selecionando alguns artigos que se mostram significativos para esboçar um amplo quadro conceitual e metodológico sobre o tema. A seguir, trataremos da metodologia utilizada na pesquisa bibliográfica e das categorias adotadas na classificação dos usos do termo modelo. Finalmente, apresentaremos e discutiremos os resultados obtidos.

### **A perspectiva dos modelos mentais na pesquisa em educação em ciências**

O artigo sobre Mental Modelling de Duit e Glynn (1996)<sup>1</sup> aborda o tema dos modelos mentais, reconhecendo o amplo espectro de significados da palavra modelo adotados pelos autores na área de pesquisa em educação em ciências. Apesar disto, Duit e Glynn vêem um núcleo comum nos diversos sentidos dados: um modelo pode substituir ou ocupar o lugar de alguma coisa que ele representa. Para eles, a estrutura através da qual podemos entender a elaboração de um modelo inclui um domínio fonte e um domínio alvo que compartilham atributos e partes de estruturas. No mapeamento feito entre os dois domínios, buscam-se relações em comum entre seus elementos, gerando uma representação que constitui um modelo mental.

Estes autores enfatizam o papel central das analogias na construção de modelos mentais. Diante do domínio alvo, relações analógicas entre ele e um domínio que serve de fonte são estabelecidas, colocando em evidência atributos e certas partes das estruturas comuns a ambos, que vão então fazer parte do modelo. Portanto, para eles, as relações analógicas são o coração dos modelos.

Pensando no campo pedagógico do ensino de ciências, Duit e Glynn consideram as analogias como ferramentas de aprendizagem a serem utilizadas, com as devidas precauções, pelos professores, para incitar processos de raciocínio em seus alunos. O termo modelos mentais é usado no texto para se referir a um conhecimento pessoal dos estudantes, construído através de processos de modelagem ou formação de representações mentais.

O artigo marca também uma diferença entre modelos mentais e modelos conceituais. Quando algum produto resultante de um processo de modelagem passa a ser compartilhado por uma certa comunidade, recebe o nome de modelo conceitual e pode ser, em determinadas situações, transformado em um objeto concreto. Em ambos os casos, o que importa é a representação mental que se tem do modelo conceitual (ou do objeto que o representa) e que pode ser usada por várias pessoas. Modelos mentais e modelos conceituais são portanto representações de processos ou objetos do mundo real, construídos basicamente através do estabelecimento de relações analógicas.

---

<sup>1</sup> O livro *Research in Science Education in Europe* (Welford et al, 1996) dá destaque aos modelos mentais, dedicando ao tema a segunda parte do livro, com 4 artigos que compõem a seção sobre Modelos Mentais em Educação em Ciências. Entre estes artigos destacamos o de Duit e Glynn.

Duit e Glynn entendem que a educação em ciências, considerada do ponto de vista de um processo de aprendizagem construtiva, não pode deixar de ver no raciocínio analógico um elemento fundamental. Para eles, aprender um modelo da ciência significa aprender as relações analógicas que estabelecem o modelo.

Finalizando, os autores apresentam resultados de pesquisa que demonstram o aspecto frutífero desta discussão acerca da educação em ciências, alertando no entanto para os cuidados que devem ser tomados no trabalho com analogias, de modo a evitar o fracasso que eles constataram em alguns casos. Concluem afirmando que aprender sobre o papel e a natureza dos modelos e do processo de modelagem é de importância crítica para a educação em ciências.

Em 1992, Nersessian caracteriza a perspectiva histórico-cognitiva, que usa estudos cognitivos sobre modos de representação e estratégias de resolução de problemas dos seres humanos em geral para enriquecer as análises da história da ciência. Focaliza situações de mudança conceitual para caracterizar as práticas que os cientistas desenvolvem quando criam novas representações dos fenômenos. A perspectiva de Nersessian articula assim estudos de caso da história da ciência com ferramentas teóricas advindas dos estudos cognitivos, para reconstruir o pensamento dos cientistas.

Ao entender uma teoria científica como um tipo de sistema representacional, a autora recorre à psicologia cognitiva de Johnson-Laird para discutir criticamente o tema da representação. Assume com este autor a existência de três formas básicas de representação: representações proposicionais, que são "cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural"; modelos mentais que são "análogos estruturais do mundo"; e imagens que são "modelos vistos de um determinado ponto de vista" (Johnson-Laird 1983, p.165).

Em seu artigo de 1995, Nersessian indaga até que ponto o conhecimento das práticas de pensamento dos cientistas pode nos inspirar para elaborar estratégias pedagógicas efetivas. Argumenta que pesquisas comparativas entre as maneiras de abordar um problema por novatos e por experts têm mostrado que estes últimos desenvolvem a habilidade de trabalhar com modelos mentais genéricos, que podem ser transferidos a situações novas. Para ela, tal linha de pesquisa se baseia na suposição de que "teremos mais sucesso treinando estudantes a pensar cientificamente se eles forem ensinados, explicitamente, a como se engajar nas práticas de modelagem daqueles considerados experts em física".

Para esta autora, as práticas de pensamento dos cientistas envolvem a construção de representações assim como outras atividades de resolução de problemas. Conhecer-las com profundidade poderá colocar os educadores em uma melhor posição para estabelecer estratégias que facilitem o desejado engajamento dos estudantes nas práticas dos experts. No entanto, para Nersessian, a transposição do que os psicólogos cognitivos tem aprendido acerca do pensamento dos cientistas às práticas de ensino de ciências tem se mostrado problemática. Com efeito, não é suficiente se conhecer a natureza, estrutura e características do conhecimento dos experts. Deve-se além disso dar mais atenção aos modos de pensamento que os estudantes devem adquirir para se tornarem experts, durante o processo pedagógico através do qual esta formação específica se desenvolve.

Baseada em suas análises de casos históricos e em estudos da psicologia cognitiva acerca do raciocínio de experts durante a resolução de problemas, Nersessian propõe então que ser expert em física requer facilidade em práticas de modelagem construtiva, que seriam de domínio-independente, além dos conhecimentos de conteúdos específicos. Para ela, a "modelagem construtiva é um processo de raciocínio integrador que emprega modelagem visual e analógica e

experiências de pensamento, criando e transformando representações informais dos problemas". Propõe ainda que ter a habilidade de raciocinar com modelos genéricos em domínios específicos faz parte da capacidade de modelar construtivamente, que ela denomina de modelagem construtiva genérica. Os novatos costumam falhar justamente no que é chamado de 'transferência' do que já conhecem para novas situações-problema.

Para Nersessian, o que a modelagem construtiva traz de diferente em relação à simples modelagem, feita basicamente por analogias simples entre atributos e partes estruturais dos dois domínios, vem do fato dela ser um processo de raciocínio dinâmico que envolve modelagem analógica e visual em simulações mentais, para criar modelos do domínio alvo onde não existe possibilidade de nenhuma analogia direta.

Negando à modelagem mental o caráter de subordinação aos processos de raciocínio proposicional que lhe é atribuído pela maioria dos historiadores e epistemólogos, Nersessian argumenta que os modelos mentais estão no centro dos processos cognitivos. Seu trabalho apresenta um claro exemplo da modelagem construtiva realizada por Maxwell que, a partir dos modelos herdados de Faraday, introduz na física uma importante representação matemática para o conceito de força, traduzida nas equações de campo.

Além da discussão relativa ao uso de analogias na formação e desenvolvimento de conceitos, Nersessian (1995) focaliza também neste artigo a aprendizagem baseada em modelagens por computador. Para ela, o potencial das simulações em computador está na capacidade de ajudar os estudantes a se familiarizar com a modelagem construtiva genérica, reconhecendo que este estudo ainda necessita aprofundamento. Indica que simulações em computador, tomadas como um sistema de ferramentas de quem pensa, podem levar os estudantes a analisar os fenômenos num nível de abstração suficiente para compreender a estrutura genérica dos modelos, podendo então transferir sua compreensão de um problema para outro. Para ela, experiências hands on (práticas) podem ser complementadas por simulações de experiências em computador dos mesmos fenômenos vistos no laboratório, num nível de abstração intermediário entre o objeto do mundo real e o objeto científico, nível este adequado para as situações de ensino.

O estudo sobre Modelos Mentais de Moreira (1997) apresenta como uma de suas principais conclusões que, assim como a década de setenta pode ser considerada a das Concepções Alternativas e a de oitenta a da Mudança Conceitual, muito possivelmente os anos noventa venham a ser a década dos Modelos Mentais. A abordagem dos modelos mentais não é simplesmente uma questão de moda:

*"O aparecimento de um número cada vez maior de artigos e pesquisas sobre modelos mentais pode ser visto como uma consequência da grande ênfase na mudança conceitual que pautou muito da pesquisa em ensino de ciências na década passada. E talvez tenha sido uma etapa necessária, pois foram os resultados (no mínimo modestos) dessa pesquisa que levaram os pesquisadores a buscar outros referenciais teóricos e, nessa busca, chegar aos modelos mentais". (Moreira 1997, p. 36)*

Em seu trabalho, Moreira opta pela teoria psicológica de Johnson-Laird por considerá-la a mais completa e articulada teoria sobre modelos mentais. A maior contribuição dessa teoria é apontar uma saída para a controvérsia, clássica na Psicologia Cognitiva, entre proposicionalistas de um lado e imagistas do outro, através da criação do conceito de modelos mentais e de uma teoria que os descreva e explique.

Moreira indica que outros autores trabalham com a noção de modelo mental aplicada à educação em ciências. Gentner e Gentner (1983) estudam dois modelos usados por estudantes para problemas de circuitos elétricos. Para Moreira, o conceito de modelo mental desses autores "é, praticamente, o mesmo de analogia, no sentido bem tradicional". Willians, Hollan e Stevens (1983) estudam modelos mentais de um sistema de resfriamento, a partir do referencial de De Kleer e Brown (1983). Para Moreira essa definição de modelo também é mais restrita que a de Johnson-Laird, pois trata de um modelo "basicamente proposicional". Gutierrez e Ogborn (1992) usam também o conceito de modelo mental mecanístico de De Kleer e Brown para estudar o tema: força e movimento, conseguindo dar conta das freqüentes mudanças de modelo causal que aparecem nos protocolos de seus entrevistados. Vosniadou (1994) estudou os modelos mentais de crianças acerca do planeta Terra., adotando praticamente o mesmo conceito de modelo mental de Johnson-Laird. Para Vosniadou (citada por Moreira),

*"Modelos mentais são representações dinâmicas e generativas que podem ser manipuladas mentalmente para prover explicações causais de fenômenos físicos e fazer previsões sobre estados de coisas do mundo físico. Supõe-se que muitos modelos mentais são criados na hora para resolver questões de situações problemáticas específicas. Contudo, é possível que alguns modelos mentais, ou parte deles, que foram úteis uma vez, sejam armazenados como estruturas separadas e recuperados da memória de longo prazo quando necessário." (Moreira 1997, p. 48)*

Moreira dedica uma parte significativa de seu artigo à análise da metodologia usada nas pesquisas voltadas para os modelos mentais em educação em ciências. Refere-se por exemplo à metodologia usada por Harrison e Treagust (1996) para estudar os modelos mentais relativos a átomos e moléculas: a utilização de entrevistas "não tão clínicas" pode não ser compartilhada por outros autores, pois "muita coisa parece ser sugerida aos entrevistados". Porém outros já se aproximam dos primeiros usando, por exemplo, a entrevista "teachback", que "consiste de uma conversação entre entrevistador e entrevistado até chegarem a um consenso sobre o pensamento de entrevistado (Pintó et al., 1996)".

Moreira continua sua revisão, apresentando resultados de sua pesquisa com Greca (Greca e Moreira 1996) sobre as representações mentais de alunos do 3º grau acerca do conceito de campo no domínio do eletromagnetismo. O objetivo deste estudo é identificar se os alunos "operavam mentalmente com modelos, proposições ou imagens, ou alguma combinação destes tipos de representações mentais propostos por Johnson-Laird" e os autores concluem que:

*"Os resultados obtidos sugerem que nos cursos introdutórios universitários de Física a maioria dos alunos trabalha com proposições não integradas ou não interpretadas em um modelo mental. As proposições que eles usam são definições e fórmulas manipuladas mecanicamente para resolver problemas ou questões. Alguns, no entanto, dão evidência de construção de modelos e isso parece caracterizar uma aprendizagem significativa". (Moreira 1997, p. 28)*

O valor da pesquisa de Halloun (1996), que também se apoia no referencial de Johnson-Laird, reside para Moreira no fato deste autor atentar para diferenças e relações entre modelagem conceitual (aquela que se pode ensinar) e modelagem mental (aquela que se tenta investigar). Neste tipo de pesquisa, vale o princípio de que

*"a aprendizagem do aluno é tanto mais significativa quanto maior for sua capacidade de modelar. Física é uma ciência de modelos e a modelagem é uma atividade sistemática dos físicos para construir e aplicar o conhecimento científico.*

*aprender Física, implica, então, aprender a jogar o jogo da modelagem." (Moreira 1997, p.28)*

Vale ainda citar as dificuldades que Moreira aponta acerca da adoção do referencial teórico dos modelos mentais, no que concerne ao seu caráter metodológico:

*"A idéia de que as pessoas, ou os alunos no caso, constroem modelos mentais do mundo, i.e., 're-presentam' internamente o mundo exterior, é atraente. O problema é que é difícil investigar tais modelos. Os modelos mentais das pessoas, ao invés de serem precisos, consistentes e completos, como os modelos científicos, são, simplesmente, funcionais. Na pesquisa, ao invés de buscar modelos mentais claros e elegantes, teremos que procurar entender modelos 'confusos', poluídos, incompletos, instáveis que os alunos realmente têm. E isso é muito difícil!"*

Tendo em vista os diversos sentidos e variados referentes - de objetos em museus às representações de cientistas e estudantes - associados ao termo modelo, no campo da educação em ciências, Gilbert e Boulter (no prelo) argumentam que é necessário discutir o tema modelos e modelagem. A pertinência do tema se explica por outras razões ainda, quais sejam: o reconhecimento do papel central de modelos e modelagem na investigação científica e nas práticas dos cientistas; a adoção de uma perspectiva construtivista da aprendizagem, segundo a qual a dinâmica de interações em sala de aula envolve um entrelaçamento de modelos; e as evidências já acumuladas relativamente ao papel substantivo de modelos pedagógicos na educação em ciências.

Visando cercar e especificar os sentidos associados aos modelos na educação em ciências, Gilbert e Boulter discutem as relações entre modelos e teorias de um lado, e entre modelos e conceitos do outro. No primeiro caso, os modelos parecem prover a "substância" das estruturas teóricas formais bem como as ações necessárias à testagem das predições teóricas. Em outras palavras, os modelos constituem um elo entre conteúdo e metodologia, ou ainda, entre teoria e empiria/experimento. No segundo caso, conceitos e modelos estariam relacionados respectivamente a proposições e imagens. Estas aproximações apontam para uma definição de modelos como processo representacional que faz uso de imagens, analogias e metáforas, para auxiliar o sujeito (aluno ou cientista) a visualizar e compreender um domínio-alvo, que pode se apresentar como difícil de compreender, complexo e abstrato, e/ou em alguma escala perceptivelmente inacessível.

Gilbert e Boulter propõem então que modelos sejam definidos como "a representação de uma idéia, um objeto, um evento ou um sistema" e distinguem vários modelos:

*"o modelo mental (uma representação pessoal, privada de um alvo), o modelo expresso (aquela versão de um modelo mental que é expressa por um indivíduo através da ação, fala ou escrita), o modelo consensual (um modelo expresso que foi submetido a teste por um grupo social, por exemplo a comunidade científica, e que é visto, pelo menos por alguns, como tendo mérito), e o modelo pedagógico (um modelo especialmente construído para auxiliar na compreensão de um modelo consensual)."*

Considerando que as práticas científicas se baseiam no desenvolvimento e a testagem de modelos, entendidos enquanto tais, a educação em ciências, quando focaliza o tema de modelos, deveria incluir para Gilbert e Boulter tanto a aprendizagem dos modelos propriamente ditos quanto uma reflexão sobre o papel dos modelos, e ainda a aprendizagem dos processos de modelagem. Para eles o uso de modelos pedagógicos visa então promover "caminhos intelectuais" específicos de compreensão dos modelos consensuais pelos estudantes, de tal modo que "o modelo pedagógico se torna a fonte a partir da qual se desenvolve um modelo mental aceitável do modelo consensual". É

de se notar ainda que o uso de modelos e da modelagem na educação em ciências pode se basear em recursos didáticos como computadores e TVs, e também se desenvolver em ambientes educativos não-formais como os museus.

Questões surgem assim que apontam novos rumos para a pesquisa em educação em ciências (Gilbert e Boulter, no prelo e Boulter e Gilbert, 1996). Entre elas destacam-se, em particular, a identificação dos usos e sentidos do termo modelo na literatura da área; a descrição e compreensão de como os estudantes formam e desenvolvem seus modelos em ciências, e de como adquirem competência para modelar; finalmente, trata-se ainda de investigar e comparar os tipos de modelos usados nas ciências e na educação em ciências, de modo a contribuir para as práticas educacionais nestas áreas de conhecimento.

Para concluir esta revisão de literatura, cabe enfatizar algumas características das pesquisas analisadas. Entre elas, destacamos a polissemia do conceito de modelo e a existência de diversos tipos de modelos (mental, conceitual etc) para os diversos autores; o papel central da analogia na formação dos modelos; a importância pedagógica dos processos de modelagem, derivada de uma visão das práticas científicas onde a modelagem construtivista joga um papel fundamental. É neste contexto amplo e complexo que passamos, então, ao nosso trabalho de análise dos usos e sentidos atribuídos à palavra modelo na literatura de pesquisa em educação em ciências.

## Metodologia

Neste trabalho, o uso e os sentidos do termo modelo são investigados a partir de um conjunto de quatro periódicos de língua inglesa, com penetração internacional e foco exclusivamente na pesquisa em educação em ciências. São eles: *International Journal of Science Education* (IJSE), *Science Education* (SE), *Science & Education* (S&E), e *Journal of Research in Science Teaching* (JRST). Os números cobertos correspondem ao período de 1987 a 1996. Inicialmente, 130 artigos foram escolhidos para análise por incluírem as palavras modelo(s) e/ou modelagem nos resumos e/ou nos descritores oferecidos pelo banco de dados ERIC (Educational Resources Information Center, Departamento de Educação dos EUA)<sup>2</sup>.

Como aproximação inicial ao uso e sentidos do termo modelo, consideramos a categorização elaborada por Gilbert e Boulter (no prelo), anteriormente citada, para dar início a um processo de classificação e, a partir de uma amostra preliminar, nossa equipe foi treinada de modo a assegurar julgamentos idênticos de classificação das referências ao termo modelo. A classificação foi realizada a partir dos resumos e, nos casos pouco frequentes em que não havia informação suficiente para identificar o sentido da palavra modelo, recorriamos aos artigos na sua versão integral. No processo de interação com os dados, as categorias iniciais foram ajustadas e redefinidas, conforme apresentado a seguir. O ajuste nos levou a um conjunto de cinco categorias: modelo mental, modelo consensual, modelo pedagógico, meta-modelo e modelagem como objetivo educacional. Nossas categorias apresentam alguma semelhança com a classificação de Gilbert e Boulter: assim é que permanecem as categorias modelo mental, modelo consensual e modelo pedagógico. Não sentimos a necessidade de distinguir modelo expresso e modelo mental – este último, de acordo com Gilbert e Boulter, inacessível ao pesquisador. Entendemos que os modelos expressos pelos indivíduos derivam diretamente de seus modelos mentais, não havendo necessidade, portanto, de se distinguir entre as versões pessoal, de um lado, e pública ou expressa, do outro, de um modelo. Também incluímos em nossa classificação as categorias meta-modelo e modelagem como objetivo educacional, que são definidas abaixo.

---

<sup>2</sup> Como o periódico IJSE não é sistematicamente indexado pelo referido banco de dados, consultamos nas próprias revistas os resumos elaborados pelos autores dos artigos.

## **Definição das categorias para classificação dos usos do termo modelo**

Nos 130 artigos analisados, encontramos um total de 143 referências ao termo modelo, já que alguns artigos incluem mais de uma referência ao termo, cada referência apontando para um sentido diverso. Em outras palavras, quando um mesmo resumo utiliza a palavra modelo com sentidos diversos, contabilizamos as referências segundo os sentidos atribuídos ao termo pelos autores - o que explica a divergência entre o número de artigos incluídos na amostra (130) e o total geral de referências ao termo modelo (143).

Foram categorizadas 93 referências ao termo modelo a partir das 143 encontradas<sup>3</sup>, uma vez que 50 delas não podem ser incluídas na amostra, seja por falta de informação, seja porque o sentido dado ao termo se afasta de nossos interesses - e portanto das categorias estabelecidas. Dentre os sentidos que foram descartados, encontram-se aqueles em que o termo modelo é utilizado para fazer menção a uma abordagem teórica específica (por exemplo, alguns modelos sociológicos ou psicológicos; entre estes últimos, destacam-se modelos atitudinais). Partindo da definição de modelo como a representação de uma idéia, objeto, evento, processo ou sistema, e de modelagem como o processo de construção de modelos, elaboramos, a partir da interação com as referências, um conjunto de cinco categorias, que definimos e ilustramos a seguir.

- ? Modelo mental: modelo pessoal, construído pelo indivíduo e que pode se expressar através da ação, da fala, da escrita, do desenho.

Millar (IJSE, 1993, 15(4)) apresenta uma pesquisa sobre o desempenho dos estudantes em questões envolvendo circuitos elétricos simples. Ele verificou que os estudantes tendiam a cometer determinados erros devido ao uso mecânico da equação  $V=RI$ , enfatizando que poucos estudantes faziam uso de um modelo mental de voltagem.

Williamson e Abraham (JRST, 1995, 32(5)) estudam os efeitos da animação em computador sobre os modelos mentais de estudantes universitários de química acerca da natureza corpuscular da matéria.

- ? Modelo consensual: modelo formalizado rigorosamente, compartilhado por grupos sociais com o propósito de compreender/explicar idéias, objetos, eventos, processos ou sistemas. Exemplos relevantes para a educação em ciências são os modelos científicos contemporâneos e do passado.

Jiménez-Aleixandre (IJSE, 1992, 14(1)) realizaram um estudo em sala de aula no qual materiais e estratégias instrucionais levaram em conta as idéias dos alunos. Diferenças entre os grupos controle e experimental de estudantes estavam relacionadas à explícita comparação do modelo darwinista com suas próprias idéias lamarquianas.

Weller (JRST, 1995, 32(3)), através da simulação em microcomputador de modelos científicos, diagnóstica e altera três concepções alternativas em dinâmica.

- ? Modelo pedagógico: modelo construído com o propósito de promover a educação. No sentido amplo, um modelo pedagógico inclui os processos de mediação didática, isto é, os processos de transformação de conhecimento científico em conhecimento escolar.

---

<sup>3</sup> Os artigos cuja(s) referência(s) ao termo foram categorizadas encontram-se listados em anexo.

Gilbert (IJSE, 1992, 14(5)) discute a natureza da tecnologia e suas relações com a ciência. Uma série de modelos para a educação tecnológica, quais sejam: 'educação em tecnologia', 'educação sobre tecnologia' e 'educação para a tecnologia', são apresentados.

Pizzini et al (SE, 1989, 73(5)) discutem como professores de ciências podem incorporar processos de resolução de problemas em suas aulas e desenvolvem um modelo de instrução em educação para a ciência que leva em consideração tal discussão.

No sentido estrito, modelo pedagógico se refere à representação simplificada de uma idéia, objeto, evento, processo ou sistema que se constitua em objeto de estudo, com o objetivo de facilitar a compreensão significativa, por parte dos alunos, destes mesmos objetos.

Farynaiarz e Lockwood (JRST, 1992, 29(5)) estudaram a eficiência da simulação em microcomputador na resolução de problemas sobre meio ambiente. O grupo experimental de estudantes (n=34) mostrou uma melhora altamente significativa em habilidades de resolução de problemas depois de serem expostos a três modelos de simulação.

- ? Meta-modelo: modelo formalizado rigorosamente, compartilhado por grupos sociais, e construído com o propósito de compreender/explicar o processo de construção e funcionamento de modelos consensuais ou de modelos mentais.

Villani (SE, 1992, (76(2)) estuda a mudança conceitual em Ciência e em Educação para a Ciência. Apresenta os usos do modelo de Laudan de mudança científica para obter características correspondentes da mudança conceitual em aprendizagem da ciência.

Whitelock (IJSE, 1991, 13(3)) investiga um modelo de pensamento do senso comum sobre causas do movimento com estudantes de 7 a 16 anos.

- ? Modelagem como objetivo educacional: enfatiza a promoção da competência em construir modelos como propósito central do ensino de ciências.

Ingham e Gilbert (IJSE, 1991, 13(2)) identificam e caracterizam o uso de modelos analógicos por estudantes de química de níveis avançados.

Andaloro et al (IJSE, 1991, 13(3)) discutem a importância e valor da modelagem no ensino de física de dois pontos de vista: ensinar física como ela é praticada nos dias de hoje; e levar em conta as pesquisas em ciência cognitiva e aprendizagem.

## **Resultados: Categorização dos resumos/artigos**

A tabela 1 apresenta a distribuição de referências em cada uma das categorias para as quatro revistas analisadas. A tabela 2, adiante, apresenta a distribuição por ano das referências em cada uma das categorias.

A tabela 1 apresenta um quadro descritivo global que detalhamos a seguir, focalizando respectivamente os totais verticais e horizontais. Encontramos que a revista que inclui o maior número de referências é o IJSE, com 6 publicações anuais (a partir de 1996). Este total, de 53, supera em muito a frequência de uso do termo modelo das demais revistas: o JRST, com 10 números anuais, inclui 20 referências; a SE, com 6 números anuais, 17 referências; e a S&E, lançada em 1992 com 4 números anuais, apenas 3 referências. Ainda que relativizando, de um lado, as frequências obtidas em função da periodicidade anual de cada revista e considerando, do outro, o

lançamento recente da S&E (totalizando 16 números no período analisado), o total de referências obtidas no IJSE permanece claramente superior.

Revistas	Mental	Consensual	Pedagógico	Meta	Modelagem	Total
IJSE	14	11	13	10	5	53
JRST	3	3	9	4	1	20
SE	3	2	5	5	2	17
S&E				2	1	3
Total	20	16	27	21	9	93

Tabela 1: Distribuição de categorias para cada revista

Nos diversos usos e sentidos atribuídos à palavra modelo, a tabela 1 mostra que a categoria mais freqüente é a de modelo pedagógico (com 27 referências). Isto não é de surpreender, na medida em que o campo de pesquisa de educação em ciências, por definição, trata de modelos pedagógicos. Cabe no entanto observar que, das 27 referências a modelos pedagógicos, um número muito pequeno diz respeito a modelos pedagógicos no sentido estrito. É em revistas como a *The Physics Teacher*, não incluída na nossa amostra, mais diretamente voltada para assessorar o professorado e com menos ênfase em trabalhos de pesquisa, que podem ser encontrada a maioria de referências a modelos pedagógicos em sentido estrito.

Com freqüências decrescentes, encontramos as categorias de meta-modelo e de modelo mental (21 e 20 referências respectivamente), seguidas pela de modelo consensual (16 referências). Finalmente, a categoria de modelagem aparece com menor freqüência (9 referências). Esta distribuição pode ser melhor compreendida e discutida a partir da tabela 2, o que fazemos a seguir.

Ano	Mental	Consensual	Pedagógico	Meta	Modelagem	Total
96	7	2	4	4	2	19
95	1	3	1	4	2	11
94	1	2	2	1	2	8
93	2	1	2	1		6
92	2	2	5	4		13
91	1	4	3	6	3	17
90	1	2	2			5
89	2		4			6
88	2		2			4
87	1		2	1		4
Total	20	16	27	21	9	93

Tabela 2: Distribuição de categorias por ano

A partir da tabela 2, podemos observar que o uso do termo modelo vem aumentando sensivelmente na última década. Este aumento se faz particularmente claro se compararmos os totais de 36 referências no primeiro quinquênio, de 1987 a 1991, e 57 referências no quinquênio seguinte, de 1992 a 1996. O aumento das publicações propriamente ditas - a revista *Science and Education* passa a ser editada a partir de 1992 (três menções ao termo até 1996 na tabela 1); e a revista *International Journal of Science Education*, a partir de 1993, aumenta de cinco para seis

números suas publicações por ano - é proporcionalmente inferior ao aumento da frequência de uso do termo modelo a partir de 1992, e portanto, não o explica totalmente.

É interessante observar, em primeiro lugar, que o referido aumento se faz presente principalmente no aparecimento, a partir de 1990/91, das três categorias de meta-modelo, modelagem como objetivo educacional e modelo consensual, já que as categorias de modelo mental e modelo pedagógico permanecem praticamente nos mesmos níveis até 1996, excetuando-se o salto significativo (de 01/02 para 07 referências) da categoria de modelo mental em 1996. Este resultado sugere, por um lado, que a década de 90 assiste ao surgimento de novos sentidos para o tema dos modelos, com o aparecimento de duas novas categorias, meta-modelo e modelagem, a partir de 1991 – e voltaremos a estas categorias adiante. Por outro lado, é a partir de 1990 que, de acordo com a tabela 2, encontramos referências para a categoria de modelo consensual. Neste caso, trata-se não de um novo sentido para a palavra modelo mas, em nossa opinião, de um ressurgimento da categoria numa perspectiva de pesquisa, uma vez que, em outras revistas, do tipo da *The Physics Teacher*, esta categoria já é antiga. O aparecimento do tema dos modelos consensuais nas revistas por nós analisadas, nos primeiros anos da década de 90, poderia estar relacionada com a abertura da educação para a informática, onde o uso de computadores para simulação de situações-problema geralmente faz uso de modelos consensuais. Exemplos que sustentam esta interpretação podem ser encontrados nos trabalhos de Hafner e Stewart (1995) e de Weller (1995) que, ao propor simulações em computador, se referem ao modelo consensual darwinista e newtoniano.

Em segundo lugar, a tabela 2 mostra que a referência a modelos mentais é relativamente constante no período analisado, com exceção do ano de 1996, quando acontece um aumento significativo: de 1 ou 2 referências anuais entre 1987 e 1995, para 7 referências em 1996. Vemos que a ampliação do uso do termo modelo mental para designar o pensamento dos estudantes parece começar a ocorrer a partir de 1996, apesar da emergência do tema da modelagem ao longo dos anos 90 já apontar para algo semelhante. Imaginamos que as expressões "concepções alternativas", "espontâneas", "intuitivas", "misconceptions" etc, temas de pesquisas anteriores, ainda continuam sendo utilizadas para designar o pensamento dos estudantes. O salto observado pode indicar, como sugere Moreira (1997), mudanças no interesse dos pesquisadores em buscar novos referenciais teóricos para compreender melhor as concepções alternativas dos estudantes, tema que predominou a pesquisa dos anos 70, e a mudança conceitual, tema de grande interesse na década de 80. A busca de novos referenciais teóricos poderia então estar relacionada com o aparecimento, anteriormente mencionado, de duas novas categorias, a saber: meta-modelo e modelagem, resultado que comentamos a seguir

O surgimento, na década de 90, de duas novas categorias – meta-modelo e modelagem – parece expressar uma preocupação dos pesquisadores em tematizar a questão dos modelos e dos processos propriamente ditos que subjazem aos modelos. Com efeito, a categoria de meta-modelos explicita a reflexão sobre modelos e, em particular, denota as variadas tentativas de sistematização teórica para descrever e explicar os processos de elaboração e modificação de modelos, sejam eles os modelos consensuais produzidos por cientistas, ou ainda os modelos mentais desenvolvidos no contexto pedagógico por alunos de ciências. Já a categoria de modelagem se refere, por definição, aos processos pelos quais modelos são elaborados e modificados, situando-os no contexto educacional e atribuindo-lhes o caráter de objetivo central da educação em ciências. No entanto, cabe acrescentar que a busca de novos caminhos teóricos, sugerida por nossos dados, não esclarece que referenciais teóricos específicos estão sendo utilizados e/ou elaborados. A análise conceitual apresentada inicialmente, a partir de um conjunto de artigos significativos sobre o tema dos modelos em educação para ciências, já havia apontado para a polissemia do conceito. Fica então registrada a conseqüente necessidade de, além de mapear os sentidos mais usuais atribuídos ao termo, como fizemos neste trabalho, explicitar as perspectivas teóricas a partir das quais se investigam modelos em ciências e na educação em ciências .

## Conclusões

Este trabalho mapeou os diversos usos e sentidos do termo modelo na pesquisa em educação em ciências, por acreditar que isto possibilitará identificar e precisar os rumos de um importante campo de pesquisa. Nossos resultados apontam para um aumento significativo dos temas de modelagem como objetivo educacional e meta modelo. Por vislumbrarmos a continuidade do crescimento de interesse por estes temas, principalmente o de modelagem, acreditamos que a compreensão das possibilidades da utilização de modelos/modelagem na pesquisa/educação em ciências pode incentivar a produção de trabalhos dentro de um programa de pesquisa frutífero.

A adesão a meta-modelos, indicando a preocupação em modelar os modelos, dá respostas a uma antiga exigência da comunidade de pesquisa em ensino de ciências, que é a de dar conta dos processos de formação das consagradas concepções 'espontâneas', 'alternativas' etc. A atenção especial que damos à modelagem se justifica na medida em que traz uma perspectiva de compreensão das dimensões dos modelos mentais que dão conta dos processos pelos quais estes modelos são formados, trazendo a reboque trabalhos que explicitem possíveis padrões de interação entre modelos mentais e concepções alternativas.

## Bibliografia

- Boulter, C. & Gilbert, J. (1996) Texts and Contexts: Framing Modeling in the Primary Science Classroom. In Welford, G.; Osborne, J.; Scott, P. (Eds) Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes. London, Falmer Press (177-188).
- Duit, R. & Glynn, S. (1996) Mental Modelling. In Welford, G.; Osborne, J.; Scott, P. (Eds) Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes. London, Falmer Press (166-176).
- Franco, C.; Colinvaux, D. Krapas-Teixeira, S.: Quieroz, G. (1997). A teoria piagetiana e os modelos mentais. In Banks-Leite, L. (Eds.). Percursos Piagetianos. São Paulo, Cortez (187-206).
- Gentner D. & Gentner D. R. (1983) Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity. In Gentner, D. & Stevens, A. L. (Eds.). Mental Models. Hillsdale (N.J.), Lawrence Erlbaum Associates (99-127).
- Gilbert, J. & Boulter, C. (no prelo) Learning science through models and modelling. In Frazer, B. & Tobin, K. (Eds). The International Handbook of Science Education. Dordrecht, Kluwer.
- Greca, I. & Moreira, M. A. (1996) Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo eletromagnético en alumnos de Física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1), 95-108.
- Gutierrez, R. & Ogborn, J. (1992) A causal framework for analysing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), 201-220.
- Halloun, I. (1996) Schematic modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (1996) Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534. Johnson-Laird, P. (1983) *Mental Models*. Cambridge (MA) Harvard University Press.
- Kleer, J. & Brown, J. S. (1983) Assumptions and ambiguities in machanic mental models. In Gentner, D. e Stevens, A. L. (Eds.). *Mental Models*. Hillsdale (N.J.), Lawrence Erlbaum Associates (155-190).

Moreira, M. A. (1997) Modelos Mentais. *Investigação em Ensino de Ciências*, 3, 1-39. Nersessian, N. (1992) How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In Giere, R. (Ed) *Cognitive Models of Science*. Minneapolis, University of Minnesota Press (3-44).

Nersessian, N. (1995) Should physicists preach what they practice? Constructive modelling in doing and learning physics. *Science & Education*, 4, 203-226.

Pintó, R.; Aliberas, J.; Gómez, R. (1996) Três enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 221-232.

Vosniadou, S. (1994) Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.

Willians, M. D.; Holland, J. D.; Stevens, A. L. (1983) Human reasoning about a simple physical system. In: Gentner, D. e Stevens, A. L. (Eds.). *Mental Models*. Hillsdale (N.J.), Lawrence Erlbaum Associates (131-153).

**Agência financiadora: CNPq**

## ANEXO

Artigos que envolvem modelos/modelagem considerados no presente trabalho

### MODELO MENTAL

- Abell, S. & Roth, M. (1995). Reflections on Fifth-grade Life Science Lesson: Making Sense of Children's Understanding of Scientific Models. *International Journal of Science Education*, 17 (n° 1), 59-74.
- Altés, A. S. & Mercé, M. M. (1988). The Scientific Method Used in Physics. *International Journal of Science Education*, 10 (n° 1), 111-120.
- Arnold, M. & Millar, R. (1996). Learning the Scientific "Story": a Case Study in the Teaching and Learning of Elementary Thermodynamics. *Science Education*, 80 (n° 3) 249-281.
- Bar, V. & Galili, I. (1994). Stages of Children's Views About Evaporation. *International Journal of Science Education*, 16 (n° 2), 157-174.
- Fesher, E. & Meyer, K. R. (1992). Children's Conceptions of Color. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (n° 5), 505-520.
- Finkel, E. A. (1996). Making Sense of Genetics: Student's Knowledge Use During Problem Solving in High School Genetics Class. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (n° 4), 345-368.
- Gutierrez, R.. & Ogborn, J. (1992). A Causal Framework for Analysing Alternative Conceptions. *International Journal of Science Education*, 14 (n° 2), 201-220.
- Johnson, K. S. & Stewart, J. (1990). Using Philosophy of Science in Curriculum Development: An Example From High School Genetics. *International Journal of Science Education*, 12 (n° 3), 297-307.
- Kindfield, A. C. H. (1994). Understanding a Basic Biological Process: Expert and Novice Models of Science. *Science Education*, 78 (n° 3), 255-283.
- Meyer, K. & Carlisle R. (1996). Children as Experimenters. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 2), 231-248.
- Millar, R. & Beh, K. L. (1993). Students' Understanding of Voltage in Simple Parallel Electric Circuits. *International Journal of Science Education*, 15 (n° 4), 351-361.
- Niaz, M. (1996). Reasoning Strategies of Students in Solving Chemistry Problems as a Function of Developmental Level, Functional M-Capacity and Disembedding Ability. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 5), 525-541.
- Pereira, M. P. & Pestana, M. E. M. (1991). Pupils' Representations of Models of Water. *International Journal of Science Education*, 13 (n° 3), 313-319.
- Proverbio, E. & Lai, S. (1989). Spontaneous Models and the Formalization of the Concepts of Weather and Time at the Elementary School Level. *International Journal of Science Education*, 11 (n° 1), 113-123.
- Romadas, J. & Bhabha, H.(1996). The System Idea as a Tool in Understanding Conception about the Digestive System. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 3), 355-368.
- Selley, N. J. (1996). Children's Ideas on Light and Vision. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 6), 713-723.
- Selley, N. J. (1996). Towards a Phenomeno Graphy of Light and Vision. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 7), 837-846.

Steinberg, M. S.; Brown, D. E. & Clement, J. (1990). Genius is Not Immune to Persistent Misconceptions: Conceptual Difficulties Impeding Isaac Newton and Contemporary Physics Students. *International Journal of Science Education*, 12 (n° 3), 265-273.

Stewart, J. & Dale, M. (1989). High School Students' Understanding of Chromosome/Gene Behavior during Meiosis. *Science Education*, 73 (n° 4), 501-521.

Williamson, V. M. & Abraham, M. R. (1995). The Effects of Computer Animation on the Particulate Mental Models of College Chemistry Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (n° 5), 521-534.

### MODELO CONSENSUAL

- Abell, S. & Roth, M. (1995). Reflections On Fifth-Grade Life Science Lesson: Making Sense of Children's Understanding of Scientific Models. *International Journal of Science Education*, 17 (n° 1), 59-74.
- Arnold, M. & Millar, R. (1994). Children's and Lay Adults' Views About Thermal Equilibrium. *International Journal of Science Education*, 16 (n° 4), 405-419.
- Finkel, E. A. (1996). Making Sense of Genetics: Student's Knowledge Use During Problem Solving in High School Genetics Class. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (n° 4), 345-368.
- Fischler, H. & Lichtfeldt, M. (1992). Modern Physics and Students' Conceptions. *International Journal of Science Education*, 14 (n° 2), 181-190.
- Jiménez-Aleixandre, M. (1992). Thinking About Theories or Thinking with Theories?: A Classroom Study with Natural Selection. *International Journal of Science Education*, 14 (n° 1), 51-61.
- Johnson, K. S. & Stewart, J. (1990). Using Philosophy of Science in Curriculum Development: An Example from High School Genetics. *International Journal of Science Education*, 12(n° 3), 297-307.
- Kindfield, A. C. H. (1994). Understanding a Basic Biological Process: Expert and Novice Models of Science. *Science Education*, 78 (n° 3), 255-283.
- Kinnear, Judith F. (1991). Using an Historical Perspective to Enrich the Teaching of Linkage in Genetics. *Science Education*, 75 (n° 1), 69-85.
- Linn, M. & Songer, N. B. (1991). Teaching Thermodynamics to Middle School Students: What are Appropriate Cognitive Demands? *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (n° 10), 885-918.
- Patel, V. L.; Kaufman, D. & Sheldon, M. (1991). Causal Explanation of Complex Physiological Concepts by Medical Students. *International Journal of Science Education*, 13 (n° 2), 171-185.
- Paton, R. C. (1993). Understanding Biosystem Organization Part 2: Towards a Theoretical Framework. *International Journal of Science Education*, 15(n° 6), 637-653.
- Pereira, M. P. & Pestana, M. E. M. (1991). Pupils' Representations of Models of Water. *International Journal of Science Education*, 13(n° 3), 313-319.
- Smit, J. J. A. & Finegold, M. (1995). Models in Physics: Perceptions Held by Final-year Prospective Physical Science Teachers Studying at South African Universities. *International Journal of Science Education*, 17 (n° 5), 621-634.
- Steinberg, M. S.; Brown, D. E. & Clement, J. (1990). Genius is Not Immune to Persistent Misconceptions: Conceptual Difficulties Impeding Isaac Newton and Contemporary Physics Students. *International Journal of Science Education*, 12 (n° 3), 265-273.
- Stocklmayer, S & Treagust, D. (1996). Images of Electricity: How Do Novices and Experts Model Electric Current? *International Journal of Science Education*, 18 (n° 2), 163-178.
- Weller, H. G. (1995). Diagnosing and Altering Three Aristotelian Alternative Conceptions in Dynamics: Microcomputer Simulations of Scientific Models. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (n° 3), 271-290.

## MODELO PEDAGÓGICO NO SENTIDO AMPLO

- Abrams, E. & Wandersee, J. H. (1995). How to Infuse Actual Scientific Research Practices into Science Classroom Instruction. *International Journal of Science Education*, 17 (n° 6), 683-694.
- Anderson, O. R. (1992). Some Interrelationships Between Constructivist Models of Learning and Current Neurobiological Theory, with Implications for Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (n° 10), 1037-1058.
- Arnold, M. & Middle, W. (1987). Being Constructive: An Alternative Approach to the Teaching of Introductory Ideas in Electricity. *International Journal of Science Education*, 9 (n° 5), 553-563.
- Arnold, M. & Millar, R (1996). Learning the Scientific "Story": A Case Study in the Teaching and Learning of Elementary Thermodynamics. *Science Education*, 80 (n° 3), 249-281.
- Bar, V. & Galili, I. (1991). Children's Views Concerning Phase Changes. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (n° 4), 363-382.
- Duschl, R. A. & Gitomer, D. H. (1991). Epistemological Perspectives on Conceptual Change: Implications for Educational Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (n° 9), 839-858.
- Duschl, R. A. & Wright, E. (1989). A Case Study of High School Teachers' Decision Making Models for Planning and Teaching Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (n° 6), 467-501.
- Ferguson-Hessler, M. G. M. & Jong, T. (1993) Does Physics Instruction Foster University Students' Cognitive Processes? A Descriptive Study of Teacher Activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (n° 7), 681-696.
- Fleer, M. (1990). Gender Issues in Early Childhood Science and Technology Education in Australia. *International Journal of Science Education*, 12 (n° 4), 355-367.
- George, J. M. (1992). Science Teachers as Innovators Using Indigenous Resources. *International Journal of Science Education*, 14 (n° 1), 95-109.
- Gilbert, J. K. (1992). The Interface Between Science Education and Technology Education. *International Journal of Science Education*, 14 (n° 5), 563-578.
- Herwitz, S. & Guerra, M. (1996). Perspectives, Partnerships and Values in Science Education: A University and Public Elementary School Collaboration. *Science Education*, 80 (n° 1), 21-34.
- Jones, A. T. & Kirk, C. M. (1990). Introducing Technological Applications into the Physics Classroom: Help or Hindrance for Learning? *International Journal of Science Education*, 12 (n° 5), 481-490.
- Keiny, S. & Shachak (1987). Educational Model for Environmental Cognitive Development. *International Journal of Science Education*, 9 (n° 4), 449-458.
- Killermam, W. (1996). Biology Education in Germany: Research into the Effectiveness of Different Teaching Methods. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 3), 233-346.
- Pizzini, E. L. & Shepardson, D. P. (1992). A Comparison of the Classroom Dynamics of Problem-Solving and Traditional Laboratory Model of Instruction Using Path Analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (n° 3), 243-258. Pizzini, E. L. & And Others (1989). A Rationale for and the Development of a Problem Solving Model of Instruction in Science Education. *Science Education*, 73 (n° 5), 523-34.
- Psillos, D.; Koumaras, P. & Tiberghien, A. (1988). Voltage Presented as a Primary Concept in an Introductory Teaching Sequence on DC Circuits. *International Journal of Science Education*, 10 (n° 1), 29-43.

Rollnick, M. & Rutherford, M. (1993). The Use of a Conceptual Change Model and Mixed Language Strategy for Remediating Misconceptions on Air Pressure. *International Journal of Science Education*, 15 (n° 4), 363-381.

Schauble, L. & And Others. (1991). Students' Transition from an Engineering Model to a Science Model of Experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (n° 9), 859-882.

Stepans, J. & And Others (1988). The Effect of Two Instructional Models in Bringing About a Conceptual Change in the Understanding of Science Concepts by Prospective Elementary Teachers. *Science Education*, 72 (n° 2), 185-195.

Strömdahl, H.; Tullberg, A.; & Lybeck, L. (1994). The Qualitatively Different Conceptions of 1 Mol. *International Journal of Science Education*, 16 (n° 1), 17-26.

Tobin, K. & Espinet, M. (1989). Impediments to Change: Applications of Coaching in High-School Science Teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (n° 2), 105-120.

Tullberg, A.; Strömdahl, H. & Lybeck, L. (1994). Student's Conceptions of 1 Mol and Educators' Conceptions of How They Teach 'the Mole'. *International Journal of Science Education*, 16 (n° 2), 145-156.

### **MODELO PEDAGÓGICO NO SENTIDO ESTRITO**

Arnold, M. & Middle, W. (1987). Being Constructive: An Alternative Approach to the Teaching of Introductory Ideas in Electricity. *International Journal of Science Education*, 9 (n° 5), 553-563.

Farynaiarz, J. V. & Lockwood, L. G. (1992). Effectiveness of Microcomputer Simulations in Stimulating Environmental Problem Solving by Community College Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (n° 5), 453-470.

Killermam, W. (1996). Biology Education in Germany: Reserch into the Effectiveness of Different Teaching Methods. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 3), 233-346.

### META-MODELO

- Abrams, E. & Wandersee, J. H. (1995). How to Infuse Actual Scientific Research Practices into Science Classroom Instruction. *International Journal of Science Education*, 17 (n° 6), 683-694.
- Abrams, E. & Wandersee, J. (1995) How Does Biological Knowledge Grow? A Study of Life Scientists' Research Practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (n° 6), 649-663.
- Bowen, C. W. & Bodner, G. M. (1991). Problem-Solving Processes Used by Students in Organic Synthesis. *International Journal of Science Education*, 13(n° 2), 143-158.
- Duschl, R. A. & Gitomer, D. H. (1991). Epistemological Perspectives on Conceptual Change: Implications for Educational Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (n° 9), 839-858.
- Dykstra, D. I. & And Others (1992). Studying Conceptual Change in Learning Physics. *Science Education*, 76 (n° 6), 615-652.
- Gilbert, S. W. (1991). Model Building and Definition of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (n° 1), 73-79.
- Graham, T. & Berry, J. (1996). A Hierarchical Model of the Development of Student Understanding of Momentum. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 1), 75-89.
- Gutierrez, R. & Ogborn, J. (1992). A Causal Framework for Analysing Alternative Conceptions. *International Journal of Science Education*, 14 (n° 2), 201-220.
- Hodson, D. (1992). Assessment of Practical Work: Some Considerations in Philosophy of Science. *Science & Education*, 1 (n° 2), 115-144.
- Jarvis, T. & Rennie, L. J. (1996). Understanding Technology: the Development of a Concept. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 8), 977-992.
- Loving, C. C. (1991). The Scientific Theory Profile: A Philosophy of Science Model for Science Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (n° 9), 823-838.
- Luffiego, M.; Bastida, M.; Ramos, F. & Soto, J. (1994). Systemic Model of Conceptual Evolution. *International Journal of Science Education*, 16 (n° 3), 305-313.
- Mohapatra, J. K. (1987). Can Problem-Solving in Physics Give an Indication of Pupils' 'Process Knowledge'. *International Journal of Science Education*, 9 (n° 1) 117-123.
- Nersessian, N. J. (1995). Should Physicists Preach What They Practice? Constructive Modeling in Doing and Learning Physics. *Science & Education*, 4 (n° 3), 203-226.
- Niaz, M. (1995). Progressive Transitions from Algorithmic to Conceptual Understanding in Student Ability to Solve Chemistry Problems: A Lakatosian Interpretation. *Science Education*, 79 (n° 1), 19-36.
- Paton, R. C. (1993). Understanding Biosystem Organization Part 2: Towards A Theoretical Framework. *International Journal of Science Education*, 15 (n° 6), 637-653.
- Romadas, J. & Bhabha, H. (1996). The System Idea as a Tool in Understanding Conception About The Digestive System. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 3), 355-368.
- Stewart, J. & Hafner, R. (1991). Extending the Conception of "Problem" in Problem-Solving Research. *Science Education*, 75 (n° 1), 105-120.
- Thorle, N. R. & Stofflet, R. (1996). Representation of the Conceptual Change Model in Science Teacher Education. *Science Education*, 80 (n° 3), 317-339.
- Villani, A. (1992). Conceptual Change in Science and Science Education. *Science Education*, 76 (n° 2), 223-237.

Whitelock, D. (1991). Investigating a Model of Commonsense Thinking About Causes of Motion with 7 to 16-year-old Pupils. *International Journal of Science Education*, 13 (n° 3), 321-340.

## MODELAGEM

- Andaloro, G.; Donzelli, V. & Sperandeo-Mineo, R. M. (1991). Modelling in Physics Teaching: The Role of Computer Simulation. *International Journal of Science Education*, 13 (n° 3), 243-254.
- Brown, D. (1994). Facilitating Conceptual Change Using Analogies and Explanatory Models. *International Journal of Science Education*, 16 (n° 2), 201-214.
- Grosslight, L. & And Others (1991). Understanding Models and Their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (n° 9), 799-822.
- Hafner, R. & Stewart, J. (1995). Revising Explanatory Models to Accommodate Anomalous Genetic Phenomena: Problem Solving in the "Context of Discovery." *Science Education*, 79 (n° 2), 111-146.
- Ingham, A. M. & Gilbert, J. K. (1991). The Use of Analogue Models by Students of Chemistry at Higher Education Level. *International Journal of Science Education*, 13 (n° 2), 193-202.
- Lemeignam, G. & Weil-Barais, A. (1994). A Developmental Approach to Cognitive Change in Mechanics. *International Journal of Science Education*, 16 (n° 1), 99-120.
- Paton, R.C. (1996). On an Apparently Simple Modelling Problem in Biology. *International Journal of Science Education*, 18 (n° 1), 55-64.
- Raghavan, K. & Glaser, R. (1995). Model-Based Analysis and Reasoning in Science: The MARS Curriculum. *Science Education*, 79 (n° 1), 37-61.
- Silverman, M. P. (1996). Self-Directed Learning: Phylosophy and Implementation. *Science & Education*, 5 (n° 4), 357-380.