

FORMULAÇÃO DE MODELOS DE ESTUDOS DA TERRA EM TRAJETÓRIA DE REFORMULAÇÃO CURRICULAR DO ENSINO MÉDIO: O EXEMPLO DO CICLO DA ÁGUA

GONÇALVES, Pedro W.; SICCA, Natalina A.L.; ALVES, Maurílio A.R.; GARÓFALO, Maria A.; RIBEIRO, Jesus A.

Apoio: FAPESP Programa Ensino Público, CNPq

RESUMO

A presente pesquisa procura identificar qual é o modelo científico conceitual que professores de distintas disciplinas do ensino médio possuem sobre o tópico ciclo da água. Foi feito um levantamento exploratório sobre uso de modelos no ensino. Além disso, foi acompanhado um grupo de professores em processo de formação continuada. Indica, ainda, como professores mudam o modelo conceitual a medida que participam de Grupo de Estudos de *Ciência do Sistema Terra e formação continuada de professores*. Procura-se mostrar alguns indicadores da trajetória de desenvolvimento destes docentes. A pesquisa, atualmente em andamento, revela que modelos geológicos do ciclo da água ajudam a mudar o currículo do ensino médio e também os modelos conceituais de professores sobre a natureza, o ambiente e a cidade.

Palavras-chave: Ensino de Geociências, Formação continuada de Professores, Modelos em Educação em Ciências.

ABSTRACT

This work reports a study of the knowledge of conceptual model adopted by teachers of different disciplines of secondary school, emphasizing the contributions related with the cycle of water. It was done a survey on the use of models to teach. Moreover, it was followed a group of teachers in continuing education. Results indicated how the teachers change the conceptual model while they participate of the Group of Studies called *Earth System Science for continuing education*. We search for clues in order to characterize the development of these teachers. We show up some findings: the model of the cycle of water help to change the teaching in secondary school, the changing of conceptual models of teachers is concerned the abilities of the teachers look at nature, environment and city.

Keywords: Teaching of Earth Sciences, Teacher Education, Models in Science Education.

INTRODUÇÃO

A presente pesquisa investiga o entendimento que professores do ensino médio possuem de *modelo científico* e como utilizam em suas aulas. Parte-se do suposto, já apresentado pela literatura, que docentes possuem pouco conhecimento do assunto e de sua potencialidade educacional para ensinar ciências.

Diante desse quadro, este estudo pretende investigar mais especificamente como o entendimento e o ensino do ciclo da água pode contribuir para o aperfeiçoamento profissional e o aumento da autonomia do professor a medida que incorporam modelos de processos e fenômenos locais (fenômenos ou lugares da cidade) ao currículo desenvolvido com seus alunos.

O estudo possui duas fontes de informação. Em primeiro lugar toma resultados do levantamento *Perfil do Professor de nível médio da Região de Ribeirão Preto* (estudo exploratório das características de professores de Biologia, Geografia, Física e Química do sistema estadual de ensino médio). Em segundo, recolhe dados do processo coletivo de formação continuada que está em desenvolvimento na Oficina Pedagógica da Diretoria de Ensino da Região de Ribeirão Preto denominado Grupo de Estudos *Ciência do Sistema Terra e formação continuada de professores*. Este busca mudar a atitude de professores a medida que inovam o currículo de suas disciplinas.

CONTEXTO DA PESQUISA

Por iniciativa de Assistentes Técnicos da Oficina Pedagógica da Diretoria de Ensino da Região de Ribeirão Preto houve uma aproximação de pesquisadores da universidade (Instituto de Geociências da UNICAMP e Mestrado em Educação do Centro Universitário Moura Lacerda) e professores do ensino básico do sistema estadual de educação. O período deste estudo é de 2003 a 2005 e toma como objeto de investigação as iniciativas e levantamentos proporcionados pela pesquisa colaborativa que está em andamento.

O plano de trabalho executado tomou por eixo a contextualização do ensino por meio da Ciência do Sistema Terra (enfoque ambiental para o ensino de Geociências) para realizar um programa de formação continuada de professores que visa traçar uma nova trajetória para construir o currículo. Ao mesmo tempo, foram feitos levantamentos exploratórios para descrever potencialidades, problemas e desafios do ensino básico na região. Busca-se dar uma resposta a necessidade de alunos e docentes de diferentes disciplinas para melhorar o ensino.

Um dos principais resultados práticos desses esforços é o debate interdisciplinar de adesão voluntária na Oficina Pedagógica que foi denominado Grupo de Estudos *Ensino de Ciência do Sistema Terra e formação de professores*. Este, desde o início do ano letivo de 2003, promove encontros de 3 h por semana com professores de distintas disciplinas (Biologia, Geografia, Física, Química, História, Matemática). O Grupo é composto por pesquisadores experientes de universidades (Química com formação em Educação, Biólogo com formação em Citologia, Geólogo com formação em Filosofia), assistentes técnicos da Oficina Pedagógica (um de Geografia, outro de Física), 15 professores da rede estadual de ensino.

O Grupo de Estudos decidiu tratar o ciclo da água. Como o assunto é muito geral, como há inúmeras iniciativas relativas ao estudo da água nas escolas, enfim como freqüentemente a *água* torna-se tema banal buscou-se delimitar uma forma de ir além da generalidade. Para tanto, delimitou-se que o conteúdo do tema água seria tratado sob perspectiva sistêmica, incorporaria ainda idéias históricas e temporais que pudessem revelar o modo geológico de tratar a Terra. Desse modo, foi formulado um currículo, do próprio Grupo de Estudos, no cruzamento do tratamento de tópicos específicos e pedagógicos, para formular espaços privilegiados no ensino médio, que enfatizem novas relações de professores e alunos (outras formas de participação dos alunos nas atividades didáticas) e tratamento do ambiente local (a cidade e sua história como alvo pedagógico de ciência, tecnologia e sociedade).

REFERENCIAL TEÓRICO

Desenhos do sistema solar, do coração, de motores elétricos, de moléculas e células, equações, gráficos são representações comuns nas aulas e livros de ciências. O que você pensaria de alguém que dissesse: vou construir uma casa sem planos e desenhos ou sem modelo em escala? De fato, quando pensamos em modelos científicos estamos diante de dispositivos artísticos, educacionais e tecnológicos. Em cada campo de conhecimento desempenham papéis diferentes. Na Anatomia ou Engenharia, os esquemas desempenham papel diverso da Física, apesar disso é difícil imaginar alguma área de ciência e tecnologia em que são desnecessários.

Van Driel & Verloop (2002) procuram resumir quais são as fontes e as trajetórias que geram modelos científicos. Tomamos desse debate um ponto que parece estratégico: há um modelo vinculado à dimensão do fazer ciência, outro associado ao currículo e finalmente um terceiro ligado ao ensino.

O primeiro modelo acha-se organizado no âmbito da produção da ciência. Ao longo do tempo gerou certos modelos provisórios (simplificações do mundo empírico que incorporam pontos considerados cruciais para explicar processos e fenômenos) que foram adotados pela tradição escolar. A elaboração do modelo no âmbito do fazer ciência, antes de alcançar sua forma sintética, se apóia em aspectos intuitivos, icônicos, visuais até servir para construir a idéia mais sintética do processo, usualmente expressa pela linguagem matemática. O momento seguinte corresponde a adaptar a produção do conhecimento científico para currículos, programas e materiais didáticos. Por fim, cabe ao professor interpretar as sugestões curriculares, considerar as características de seus alunos e adaptar o modelo para ser tratado na sala de aula. É o momento de procurar as analogias e as metáforas que simplificam o modelo científico e revelam somente aspectos proeminentes.

Alcançamos ponto nuclear do debate: mesmo que os professores não tenham clareza, ao ensinar utilizam fórmulas tácitas que implicitamente recorrem a analogias, metáforas, etc. que difundem os modelos científicos. Supomos que freqüentemente esses modelos acham-se restritos à linguagem sintética das expressões matemáticas que descrevem o comportamento da natureza (tipos de movimento, reações químicas, distribuição genética, etc.) o que cria obstáculos para os alunos compreenderem os conceitos envolvidos e os nexos com sua própria vida.

Harrison & Treagust (2000) buscam explicitar os tipos de modelos usados pela ciência e pelo ensino. Denominam *modelo analógico pedagógico* qualquer recurso de modelagem para construir conhecimento conceitual. Compreende esforços para descrever entidades teóricas para compartilhar o caráter teórico e o matemático, ex.: representações de linhas eletromagnéticas ou de fótons, teoria cinética das partículas. Objetos ou processos podem ser apresentados em escala ou exagerados, equações e gráficos, diagramas e mapas e simulações que facilitam a comunicação científica. Podem ser concretos, abstratos ou teóricos dependendo da necessidade do problema ou da audiência. Servem como instrumentos de investigação, entendimento e comunicação do pensamento científico. Conduzem o raciocínio para mostrar que professores e cientistas acreditam que modelos analógicos ajudam estudantes construir e manipular modelos mentais de fenômenos abstratos e não observáveis. Os autores continuam: o modelo compartilha similaridades sistemáticas com seu alvo (fenômeno, processo, etc.) e simplificação para desenvolver entendimento conceitual. Em virtude disso, muitos modelos são analogias e no ensino o aluno pode não perceber alguns aspectos de similaridade e identificar somente a analogia óbvia.

Defendemos que um aspecto essencial a ser adquirido pelo aluno é o domínio do conhecimento que permite compreender os processos, bem como a idéia de como esse conhecimento foi estabelecido e que ele se modifica ao longo do tempo a medida que o pensamento científico também se altera. Essa abordagem metodológica da ciência está vinculada à compreensão da *natureza da ciência*.

Lederman (1999) assinala que desde o começo do século XX a idéia de que a *natureza da ciência* é um aspecto importante do ensino de ciências e pode ser imaginada como parte relevante da *alfabetização científica*.

Por outro lado, Izquierdo (2005) enfatiza a importância de caracterizar critérios que definam *o que* deve ser ensinado em ciências. Seu argumento parte da idéia de que os desafios atuais implicam rever conteúdos tradicionais. No esforço de delimitar e selecionar o conteúdo do currículo considera diversos aspectos (sociais, econômicos, tecnológicos, psicossociais, etc.). A montagem conceitual aproxima a perspectiva de ciência como atividade racional e investigativa do mundo empírico. Embora Izquierdo (2005) deixe de avançar para o problema da *natureza da ciência* veiculada pelo ensino, sua abordagem

explora idéias congruentes com o entendimento de como a ciência opera, argumenta, constrói teorias, ou seja, algo que contribui para alfabetização de todos em ciências.

Reunir essas contribuições coloca no centro do debate o problema *do* que e *do como* veicular os conteúdos das ciências. Se o mundo das ciências se constitui como uma cultura com linguagens próprias e distintas dos conhecimentos comuns, no plano do ensino torna-se necessário mecanismos (analogias, metáforas, etc.) que possam introduzir os alunos ao conhecimento dos processos tratados pelas ciências empíricas. De nosso ponto de vista, isso remete ao modo como se estabelecem os modelos científicos, sobretudo aqueles utilizados diretamente no ensino.

Treagust et al. (2002) examinam as dificuldades associadas ao entendimento do *conceito de modelo*. Empregam certo conjunto de modelos para verificar o que os alunos conseguem identificar de vínculo entre modelo e conhecimento. Notam que parcela dos estudantes consideraram que modelos são construtos para apoiar teorias científicas e que serão alterados de acordo com mudanças no pensamento científico. O instrumento utilizado apóia-se em Química orgânica.

Psillos & Kariotoglou (1999) se debruçam nas dificuldades dos alunos ao aprender modelos relativos a fluidos. Os alunos encontram obstáculos para compreender e distinguir certas entidades físicas associadas a esses modelos (p.ex., pressão e força).

Greca & Moreira (2000) exploram modelos e modelamento no ensino de Física. De um lado, sugerem que modelos são fundamentais para as ciências e para o ensino, mas, assinalam que há certa ambigüidade na literatura nos atributos relativos aos modelos.

Este rápido apanhado revela que o tema *modelo científico* apresenta certa polissemia mesmo quando tratado no âmbito do ensino de ciências.

Dentro dos limites deste estudo, interessa particularmente os modelos dedicados a estudos da Terra. Gobert (2000) assinala alguns aspectos que são cruciais e extrapolam os limites de sua pesquisa dedicada ao ensino de teoria da tectônica de placas. Os modelos geológicos distinguem-se daqueles que utilizados pela Física ou Química. Precisam ser assinaladas as seguintes diferenças: a) as camadas da Terra, parcela de seus materiais e seus processos não podem ser diretamente observados, b) é difícil compreender as escalas de espaço envolvidas nos fenômenos, c) a escala do tempo geológico é difícil de ser conceituada, d) as explicações integram diversos tipos de informação: temporal, espacial, dinâmica, causal, etc. (Gobert, 2000:939).

Mesmo tópicos que recebem maior atenção na bibliografia, tais como: Terra como corpo cósmico, modelos para promover o entendimento da geosfera, hidrosfera, biosfera e atmosfera, problemas ambientais admitem estudos adicionais para esmiuçar como tratar a história geológica local, combinar diversos modos de cruzar evidências observáveis para construir um modelo de ensino.

Dificuldades dos alunos para compreender mecanismos sistêmicos são conhecidas. Ben-Zvi-Assaraf & Orion (2003) indagam como estudantes do nível secundário podem compreender sistemas complexos; quais as habilidades dos estudantes que facilitam compreender o sistema e que componentes acham-se envolvidos no pensamento sistêmico. Habilidades cognitivas individuais e nível de envolvimento para integrar conhecimento obtido dentro e fora da sala de aula foram essenciais para os alunos, da escola secundária, compreenderem o ciclo da água.

O ciclo da água permite identificar inter-relações, dinâmicas, processos e componentes que compõe uma rede que pode ser examinada na escala de tempo do presente ou do passado geológico. Trata-se de modelo sistêmico que possibilita resolver problemas de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Ao mesmo tempo, são muito frequentes os tratamentos simplificados e banais que recorrem a modelos físicos quase insustentáveis para compreender o que ocorre no planeta.

Dessa maneira pretendemos formular alguns indicadores que possam informar sobre o caráter dos modelos utilizados por professores para tratar o ciclo da água.

O ciclo da água sob o enfoque de distintas disciplinas: trajetórias de inovação e modelos educacionais que usam a Ciência do sistema Terra

Guimarães (2004) interpreta o currículo de ciências proposto pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e revela que, se tomado sob o ponto de vista geológico, os assuntos precisam ser tratados como interações de energia, matéria e tempo.

Ao perseguir essa metodologia, imaginamos tratar o ciclo da água sob o ponto de vista da Ciência do sistema Terra. Abre-se enorme leque de possibilidades para abordar o problema em distintas escalas de espaço e tempo. Apesar dessa diversidade, há certos pontos que devem ser comuns o entendimento dos processos, dos fluxos de matéria e energia, os balanços e mecanismos de *feed back*. Tal caminho fornece sugestões de como identificar esses elementos dentro de proposições educacionais.

Dois estudos separados no tempo podem ser combinados para caracterizar certos aspectos epistemológicos que marcam a Geologia como ciência. Um passo adiante é deles extrair marcos que possam delimitar o *modelo analógico pedagógico* que precisa ser formulado. Potapova (1968) advoga que essa ciência é histórica e sintética. Seu objeto de estudo são todos os processos terrestres vistos por meio da perspectiva histórica do tempo geológico. Os demais campos científicos e tecnológicos (Química, Hidrologia, Biologia, Engenharia, etc.) fornecem conhecimento sobre a regularidade dos processos no presente, a Geologia descobre como esses processos atuaram no passado e indica o futuro curso de desenvolvimento do planeta.

Frodeman (1995) assinala que Geologia é uma ciência histórica e interpretativa da Terra. Isso conduz ao caráter hipotético e narrativo que marca o discurso elaborado sobre os processos ocorridos no planeta.

Isso conduz aos tratamentos esperados para o ensino de ciclo da água. As ciências e tecnologias que tratam dos processos do presente que ajudam a descrever os fluxos e os balanços da água em cada reservatório (oceano, atmosfera, aquíferos, água superficial, etc.) e as trocas entre reservatórios. Muitas das propriedades descritas (p.ex., composição química de águas superficiais e subterrâneas) recorrem à história do caminho da água e, ou, das rochas onde foram armazenadas para serem estudadas sob a perspectiva do tempo geológico.

Para exemplificar o que modelos analógico pedagógicos precisam conter utilizamos os alguns projetos desenvolvidos no âmbito do Grupo de Estudos *Ciência do Sistema Terra e de formação continuada de professores*.

Águas subterrâneas de Ribeirão Preto: estudo de soluções explora um assunto tratado na Química do ensino médio. O modelo pedagógico procura explicar processos e balanços que não podem ser diretamente observados no caminho da água da chuva ao armazenamento no aquífero, mas que podem ser intuídos por meio de exposições e experimentos que examinem substâncias dissolvidas em águas de diferentes poços (águas que percolaram diferentes tipos de rochas). Ou seja, o tema soluções explorado a partir de águas naturais ajuda a contextualizar e compreender aspectos ambientais (características e contaminação de águas subterrâneas).

Mata de Santa Tereza: ecologia de uma floresta tropical urbana reorganiza o conhecimento do ensino de teoria da evolução. Levantamento e descrição das espécies vegetais e sua distribuição em Área de Preservação Ambiental e como essas plantas obtêm água, de onde ela vem. Explora o modelo de processo não observável diretamente: caminho da água desde à chuva até a planta passando pelo solo. Tanto os processos de diferenciação dos vegetais são vistos, quanto o balanço hídrico que ocorre na floresta. As dinâmicas precisam ser generalizadas de observações particulares da natureza e enfatizam aspectos pouco explorados pelo ensino de Biologia.

IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS ADOTADOS PELOS PROFESSORES NO ENSINO DE SUAS DISCIPLINAS

Para melhor compreender o que pensam os professores sobre modelos e seu uso no ensino foi feito um levantamento exploratório denominado *Perfil do Professor de nível médio da Região de Ribeirão Preto*. Tal estudo buscou compreender o processo curricular no ensino médio. Preconizou como modelos são interpretados pelos professores na prática escolar, sobretudo no desenvolvimento de aspectos da metodologia de ensino. A região de Ribeirão Preto aqui considerada engloba 12 municípios do Estado de São Paulo, onde vivem cerca de 700.000 habitantes (segundo SEADE, 2004). Possui 52 escolas com nível médio do sistema estadual de ensino. O levantamento foi feito com 169 professores das disciplinas

Biologia, Geografia, Física, e Química. Os questionários foram respondidos entre a segunda quinzena de maio e durante o mês de junho de 2003 (Ver Tabela 1).

TABELA 1. Distribuição dos professores da Diretoria de Ensino de Ribeirão Preto segundo disciplina e formação acadêmica (número absolutos da amostra e porcentagem do universo estimado por disciplina). Fonte: Diagnóstico “Perfil do Professor de nível médio da Região de Ribeirão Preto” (questionários respondidos entre maio e junho de 2003).

Disciplina	Biologia		Física		Química		Geografia	
	Números absolutos	Porcentag. (%)	Números absolutos	Porcentag. (%)	Números absolutos	Porcentag. (%)	Números absolutos	Porcentag. (%)
Estimativa do universo*	58		55		55		60	
R**	41	70,7	30	52,6	35	64	46	76,7
Habilitado***	20	48,8	6	20,0	29	82,9	22	47,8
Não habilitado***	4	9,6	12	40,0	5	14,3	0	
NR***	17	41,5	12	40,0	2	6,9	19	41,3
Mestrado***	6	14,6	0		6	17,1	0	
Doutorado***	3	7,3	0		1	5,7	0	

Legenda: *Estimativa do universo: Número estimado de professores da disciplina. ** R, respondentes. Porcentagem sobre o número estimado. *** Habilitado, possui graduação na disciplina que ministra. Não habilitado, possui formação fora da disciplina que ministra. NR, não respondeu. Porcentagem dentro da amostra de respondentes.

TABELA 2. Procedimentos didáticos mais adotados segundo a opinião dos professores da Região de Ribeirão Preto, apresentado em números absolutos e porcentagem da amostra por disciplina (Biologia 41 respondentes, Geografia 46, Física 30, Química 35). Legenda: F para “freqüentemente”, A para “as vezes”, N para “nunca” e NR para não respondeu. Porcentagens aproximadas. Fonte: Diagnóstico “Perfil do Professor de nível médio da Região de Ribeirão Preto”

Biologia	F	A	N	NR
Comparo diferentes modelos explicativos para o mesmo fato	23 56,1%	12 29,3%	3 7,3%	3 7,3%
Incentivo alunos a construírem maquetes, modelos, etc.	9 22,0%	24 58,4%	5 12,2%	3 7,3%
Em minhas aulas os alunos trabalham com modelos tangíveis (tais como: globos terrestres, anatômicos ou moleculares)	7 17,1%	23 56,1%	10 24,4%	1 2,4%
Em minhas aulas, incentivo os alunos a estabelecem relações entre modelos e realidade	21 51,2%	18 44,0%	1 2,4%	1 2,4%
Peço aos estudantes para que façam previsões sobre o fenômeno estudado por meio de modelos	4 9,8%	25 61,0%	5 12,2%	6 14,6%
Após as aulas, meus alunos são capazes de usar explicações, conceitos, modelos ensinados em sua vida prática	8 19,5%	28 68,3%	0	5 12,2%
Após as aulas, meus alunos são capazes de estabelecer diferenças entre explicações, modelos científicos e a realidade	9 22,0%	25 61,0%	0	7 17,1%
Geografia	F	A	N	NR
Comparo diferentes modelos explicativos para o mesmo fato	33 71,8%	11 24,0%	0	2 4,3%
Incentivo alunos a construírem maquetes, modelos, etc.	22 47,8%	22 47,8%	0	2 4,3%
Em minhas aulas os alunos trabalham com modelos tangíveis (tais como: globos terrestres, anatômicos ou moleculares)	22 47,8%	24 52,1%	0	0
Em minhas aulas, incentivo os alunos a estabelecem relações entre	35	9	0	2

modelos e realidade	83,0%	21,0%		4,3%
Peço aos estudantes para que façam previsões sobre o fenômeno estudado por meio de modelos	16 34,8%	23 50,0%	5 10,9%	2 4,3%
Após as aulas, meus alunos são capazes de usar explicações, conceitos, modelos ensinados em sua vida prática	13 31,0%	32 72,0%	0	1 2,1%
Após as aulas, meus alunos são capazes de estabelecer diferenças entre explicações, modelos científicos e a realidade	13 31,0%	32 72,0%	0	1 2,1%
Física	F	A	N	NR
Comparo diferentes modelos explicativos para o mesmo fato	17 56,7%	8 26,7%	3 10,0%	2 6,7%
Incentivo alunos a construírem maquetes, modelos, etc.	2 6,7%	10 33,3%	16 53,3%	2 6,7%
Em minhas aulas os alunos trabalham com modelos tangíveis (tais como: globos terrestres, anatômicos ou moleculares)	2 6,7	10 33,3	16 53,3	2 6,7
Em minhas aulas, incentivo os alunos a estabelecem relações entre modelos e realidade	13 43,0%	11 36,0%	4 13,0%	2 10,0%
Peço aos estudantes para que façam previsões sobre o fenômeno estudado por meio de modelos	8 27,7%	12 40,0%	7 23,3%	3 10,0%
Após as aulas, meus alunos são capazes de usar explicações, conceitos, modelos ensinados em sua vida prática	6 20,0%	22 73,0%	2 10,0%	0
Após as aulas, meus alunos são capazes de estabelecer diferenças entre explicações, modelos científicos e a realidade	4 13,0%	22 73,0%	3 10,0%	1 3,3%
Química	F	A	N	NR
Comparo diferentes modelos explicativos para o mesmo fato	16 45,7%	17 48,6%	1 2,9%	1 2,9%
Incentivo alunos a construírem maquetes, modelos, etc.	6 14,3%	22 62,9%	8 22,9%	0
Em minhas aulas os alunos trabalham com modelos tangíveis (tais como: globos terrestres, anatômicos ou moleculares)	2 5,7%	18 51,4%	15 42,9%	0
Em minhas aulas, incentivo os alunos a estabelecem relações entre modelos e realidade	19 54,0%	11 31,0%	5 20,0%	0
Peço aos estudantes para que façam previsões sobre o fenômeno estudado por meio de modelos	2 57,1%	24 68,6%	9 25,7%	0
Após as aulas, meus alunos são capazes de usar explicações, conceitos, modelos ensinados em sua vida prática	11 31,0%	23 66,0%	1 2,9%	0
Após as aulas, meus alunos são capazes de estabelecer diferenças entre explicações, modelos científicos e a realidade	7 20,0%	27 77,0%	1 2,9%	0

A Tabela 2 revela que na opinião dos professores dos quatro universos (Biologia, Geografia, Física e Química) eles utilizam modelos em suas aulas. Dos quatro grupos, o uso é mais intenso na Geografia e, de outro lado, mais ocasional nas aulas de Física. As respostas, com diferentes aspectos inter-relacionados ao uso de modelos no ensino, revela significativa dispersão.

Apesar da mencionada dispersão, a Tabela 2 sugere que ao conduzir as aulas, os professores buscam analogias e comparações para explicar os assuntos a seus alunos. Ao mesmo tempo, é menos comum o professor deixar o próprio aluno explorar o modelo, buscar formas de fazer extrapolações a partir dos modelos e manipular intelectual ou fisicamente modelos científicos. É notável, p.ex., as respostas dos professores de Geografia: quase metade freqüentemente facilita a manipulação de modelos pelos alunos, parte praticamente igual só o faz ocasionalmente. Resposta de mesma natureza foi dada pelos professores de Química: mais de metade dos professores incentivam ocasionalmente seus alunos a manipularem modelos tangíveis e mais de 40% nunca o fazem.

A mesma Tabela sugere, ainda, que os professores imaginam que poucas vezes seus alunos são capazes de utilizar o conhecimento científico em sua vida prática ou comparar os modelos e realidade. É importante chamar atenção, ainda, para o fato de que os professores possuem clareza da deficiência do

ensino ao sugerir que seus alunos não são capazes de compreender a natureza do conhecimento científico, bem como não estabelecem relações desses conteúdos e sua vida ou a realidade.

Os resultados indicam que o modo como os professores investigados exploram os modelos em suas aulas recorrem a formas mais ilustrativas. Simultaneamente, manipulações intelectuais mais complexas que os alunos poderiam fazer com modelos encontram-se entre os aspectos menos explorados nas aulas. Isso é um índice de que falta clareza aos professores sobre como utilizar modelos nas aulas ou, ainda, falta clareza sobre a natureza do uso que pode ser dado os modelos na ciência e no ensino.

Para enfatizar essa interpretação recorreremos a observações feitas com professores de Grupo de Estudos *Ciência do Sistema Terra e formação continuada de professores*. Desde março de 2003 acompanhamos o desenvolvimento de professores de diversas disciplinas (Biologia, Geografia, Física, Química, etc.) para desenvolver o tema *ciclo da água* com seus alunos do ensino médio.

Construção de modelos geológicos por meio de processo interativo

O Grupo de Estudos foi formado por adesão espontânea de professores e se caracteriza como processo educativo por meio de trocas desses com pesquisadores e assistentes técnicos da Oficina Pedagógica. Ao mesmo tempo, configura pesquisa colaborativa sobre as mudanças nas trajetórias curriculares e formação continuada de professores para incorporar conteúdos e abordagens geológicas no ensino básico.

Desde o ponto de partida das atividades do Grupo de Estudos foi defendido um mecanismo que opera com múltiplas facetas e visava organizar um novo currículo. Ponto central da organização foram as questões microcurriculares (criar espaços para mudar os componentes curriculares) e a formação continuada de professores.

Burbank & Kauchak (2003) acompanham autores que defendem pesquisas que assegurem aos professores um papel mais ativo em seu próprio desenvolvimento e, ao mesmo tempo, ampliem a definição de desenvolvimento profissional para incluir experiências e vozes dos professores. Portanto, deve criar oportunidades para processos interpretativos que examinem contextos tais como a sala de aula e a escola. Avançam para a idéia de pesquisa colaborativa para redefinir o desenvolvimento profissional do professor ao encorajar a pesquisa reflexiva.

O Grupo de Estudos propiciou um diálogo no qual os participantes compartilham seu processo pessoal de pensamento com os colegas. Os participantes se engajaram para reunir as experiências e informações para criar um currículo. Ao longo desses mais de dois anos, houve momentos de inflexão e interação mais rica. Notamos que certos episódios do diálogo do Grupo de Estudos pareceu resultar em idéias mais significativas e de maior alcance, por meio delas aumentou a interação sobre o tópico que foi construído por dois ou mais participantes engajados em sustentar as atividades. Esses momentos de inflexão cruzados com a seqüência cronológica de atividades, gera o entendimento de que houve etapas de complexidade diferenciada ao longo das atividades do Grupo de Estudos. O envolvimento dos professores nessas etapas revela modelos conceituais de como eles compreendem o ciclo da água.

Esses intercâmbios contribuem para formular um currículo a ser implementado dentro de um processo de educação continuada. O papel dos pesquisadores no processo foi criar um ambiente educativo que explorasse distintas abordagens disciplinares buscando, mediante diálogo socrático, explorar perguntas dos professores e trazer elementos adicionais para aclarar a perspectiva geológica sobre os processos que envolveram a água ao longo da história da natureza.

No primeiro semestre de 2003, as atividades foram marcadas por perguntas e relatos feitos pelos professores. A concepção de modelo conceitual sobre o ciclo da água revela, antes de mais nada, noções muito distintas entre si embora quase todas elas possuam estreito vínculo com aspectos sociais e econômicos (sobretudo aspectos de contaminação e desperdício). Ao mesmo tempo, é necessário assinalar que os professores percebem que os resultados do ensino de sua respectiva disciplina não são os melhores.

Uma caracterização mais detalhada da concepção de ciência ajuda a delimitar a noção de modelo científico de cada professor do Grupo de Estudos em diferentes dimensões da atividade profissional (nos campos da ciência, do currículo e do modelo analógico pedagógico). Isso conduz à descrição da

percepção de cada professor sobre a idéia de *modelo* e de inferir como tal idéia está sendo transposta na sala de aula.

Do ponto de vista empírico nota-se que os professores utilizam analogias, comparações e metáforas para explicar processos e conceitos a seus alunos. Todos esses elementos operam, ao mesmo tempo, comparações e simplificações. É a explicitação dessas que ajuda a construir indicadores sobre o desenvolvimento dos professores ao participar do Grupo de Estudos, ao tomar para si a tarefa de buscar estratégias inovadoras de ensino e ao pesquisar atividades de ensino inovadoras. Desse modo, chegamos ao primeiro modelo conceitual de ciclo da água, aquele em que o ciclo é reduzido à dinâmica físico-química de mudanças de estado. Como parcela dos professores mostrava ser esse o modelo conceitual empregado em sala de aula, os pesquisadores consideraram necessário avançar os raciocínios aproveitando perguntas feitas pelos alunos aos professores.

Em 14/03/2003, um professor propõe ao Grupo de Estudos o debate: *por que a água do mar é salgada? A água das geleiras é salgada?* A pergunta sugere que a composição da água do mar ou das geleiras é tomada como fato sem história, ou seja, algo separado tanto do ciclo da água, quanto dos processos geológicos. A discussão desse dia, e nas semanas seguintes, buscou revelar processos sistêmicos do ciclo da água e as condições de transportes de solutos pelos reservatórios que fornecem ou recebem fluxos do reservatório oceano. Ou seja, de um modelo conceitual estático, explorou-se dinâmicas observáveis (composição química das águas de chuvas ou dos rios), dinâmicas não observáveis diretamente (vulcanismo submarino) para formular explicação histórica e hipotética sobre a composição predominante de cloreto de sódio nos sais do oceano.

Vários aspectos conceituais puderam ser explorados nesse debate. Pesquisadores conduziram o problema para a *teoria de sistemas* e as características que precisariam estar contidas em abordagens que incorporassem tais aspectos.

Em abril de 2003, os professores ainda exploravam noções geradas pelo debate sobre sais dissolvidos na água do mar. *Se o oceano é um reservatório, quais são os outros reservatórios de água? O que é reservatório e o que é sistema?* Tais perguntas permitiram construir, junto com os professores e assistentes técnicos uma outra visão de ciclo da água. A idéia de sistema foi associada à de modelo: simplificação de processos que explora principalmente os fluxos e suas fontes de energia, mas que ajuda a fazer previsões sobre o comportamento da circulação da água entre reservatórios.

Para aprofundar tais relações, explorou-se os modelos conceituais envolvidos na explicação e nas obras previstas para evitar enchentes no alto Tietê. Descreveu-se o modelo hidrológico e as obras atualmente em execução. Comparou-se esse modelo com o modelo geológico e geomorfológico que consideram a história terciária da Bacia Sedimentar de São Paulo. Foi enfatizado que os dois modelos estão fortemente apoiados em dados empíricos, mas que cada um implica obras diferentes. Ao mesmo tempo, demonstrou-se os limites e insuficiências das obras de alargamento e aprofundamento da calha do rio Tietê. Indicou-se, ainda, obras alternativas que considerassem o modelo geológico de comportamento do ciclo da água na cidade de São Paulo.

Embora diversas questões foram levantadas que ajudavam a caracterizar o conceito de modelo conceitual (problema relativo a modelo concensual, implicações de ciência, tecnologia e sociedade, entendimento de como funciona o ciclo da água), muitas perguntas que surgiram em seguida demonstraram dúvidas e abriram possibilidades de aprofundamento: *Qual a quantidade de água que o homem muda no ciclo da água?*

A pergunta sugere algo central para pensar a formação dos professores em torno de temas das Ciências da Terra: os fenômenos naturais são invisíveis para as pessoas e professores, as idéias de transformações e mudanças acham-se restritas a fenômenos antrópicos. Para tratar a pergunta foi necessário enfatizar as quantidades de energia e matéria mobilizadas por diferentes processos e, dessa maneira, enfatizar os fluxos envolvidos no modelo do ciclo da água e a participação dos reservatórios atmosférico e superficial.

O segundo semestre incorporou aos debates do Grupo de Estudos certa seqüência de aprofundamento nos modelos de ciclo da água. Os pesquisadores adotaram a perspectiva de comparar ambientes diversos e distribuídos no espaço e, no segundo momento, distribuídos em distintos momentos do tempo geológico. Isso foi feito por meio de montagem de pesquisa simulada em torno do problema

eixo: *Como certo conjunto de atividades didáticas que explorem os princípios da geologia podem tratar o tema ciclo da água sob perspectiva de sistema e desenvolver uma abordagem interdisciplinar?*

O debate promovido explorou, primeiro, relações sistêmicas em geleiras canadenses (Geleira de Athabasca, Parque Nacional de Jasper em Alberta). O modelo seguinte explorou a evolução geológica do Cambriano ao Cretáceo exposta nas rochas de Alberta. Ou seja, o modelo inicial de ciclo da água foi dominante sistêmico e passou para sistêmico e geológico.

O tratamento integrado do ciclo da água foi obtido por meio do tema: *Ciclo da água e mudança climática global: do Proterozóico ao Pleistoceno*. Apoiado em evidências geológicas (registro rochoso) explorou qual foram as mudanças no ciclo da água durante essa parte do tempo geológico.

Perguntas feitas por professores, durante o segundo semestre de 2003, indicam a persistência de modelos conceituais fragmentados que não adotam de modo integrado os diversos fluxos que se estabelecem entre os reservatórios: *de onde vem a água subterrânea? Ou: de onde vem a água da chuva?* Mas, ao mesmo tempo, percebe-se avanços no entendimento sistêmico do ciclo da água: *O que é processual? O que é sistêmico? Como um se diferencia uma coisa da outra?*

Diferenças no aprofundamento do modelo de ciclo da água podem ser atribuídas às diferenças individuais (experiência profissional, formação específica, titulação, etc.) pois o Grupo de Estudos inclui docentes de distintas disciplinas. De todo modo, os modelos tornaram-se mais completos e integrados quando se debruçou sobre resultados de pesquisa de ensino de Geologia e tomou-se a decisão de privilegiar o contexto local como núcleo do currículo a ser implementado.

O ano de 2004 começa com o aprofundamento de noções geológicas e a tomada de decisão em defesa dos estudos locais. Alguns conceitos geológicos tornaram-se proeminentes para o debate: é preciso considerar os aspectos locais para tratar o ambiente, nada além de uns 20 km² em torno do ponto onde ocorre o evento ou a intervenção pode ser considerada predominante nos efeitos de determinada transformação. A idéia de *Aqüífero Guarani* é importante do ponto de vista político: mas o importante é estudar e saber *de onde* a água vem e *para onde* ela vai em Ribeirão Preto. A noção de análise ambiental envolvida pelos conceitos traz implicações para formar o modelo conceitual a ser explorado pelo ensino das disciplinas envolvidas no Grupo de Estudos. O ciclo da água precisa ser compreendido pelo *balanço hídrico local* e a água precisa ser considerada com suas inter-relações com as *rochas*.

Os modelos conceituais dos professores puderam avançar a medida que ensaiavam o desenvolvimento dos mesmos com seus alunos. Parcela significativa de 2004 foi período muito mais para aprofundar os temas locais (levantar e pesquisar informações que não estavam disponíveis) do que ensaiar atividades com alunos. Somente em 2005 foi iniciado o trabalho de sala de aula. Uma percepção mais clara dos problemas conceituais envolvidos nos modelos empregados começa a abrir novas perspectivas de como os professores do ensino médio podem ensinar o tópico ciclo da água a seus alunos.

DISCUSSÃO

O primeiro aspecto que chama atenção na amostra examinada pelo *Perfil do Professor de nível médio da Região de Ribeirão Preto* é o significativo desnível de formação acadêmica entre, de um lado, um grupo altamente qualificado academicamente e, de outro, profissionais cuja formação está muito distante da disciplina que ministram. Tal fator pode gerar descompassos entre o trabalho de diferentes professores para uma mesma turma de estudantes. O resultado pode ser a dificuldade de dominar e explorar modelos conceituais e teóricos de cada ciência específica.

As respostas dadas pelos professores ao questionário do *Perfil do Professor de nível médio da Região de Ribeirão Preto* sugerem que os conteúdos são tratados com baixo grau de aprofundamento. A opinião dos professores de que os alunos fracamente conseguem relacionar disciplinas e realidade conduz à idéia de que ao não ultrapassar certos limites de aprofundamento, os modelos empregados em cada disciplina podem estar enfatizando aspectos banais e pouco ajudam a formar o senso crítico dos alunos ou um entendimento claro sobre como cada conhecimento científico (de cada disciplina) contribui para desvendar a realidade.

A idéia de enfatizar somente aspectos excessivamente simplificados nos modelos conceituais empregados pelos professores encontra amparo nas observações minuciosas feitas com os professores do Grupo de Estudos no início dos trabalhos para tratar o ciclo da água.

A trajetória de debates do Grupo de Estudos adotou formas complexas para tratar o ciclo da água e buscou coletivamente formular modelos que pudessem ser adotados em cada disciplina envolvida. A condução de temas e discussões buscou enfrentar modelos estanques e fragmentados do ciclo da água. Em torno do problema *de onde vêm a água?* Imaginou-se explorar fluxos e transformações abordados pelas disciplinas do ensino médio. Chegou-se, ainda, a respostas previamente insuspeitas para incluir o tratamento do ciclo da água na disciplina História (estudo dos ciclos econômicos e dos recursos naturais). Se a água faz parte do ambiente, os modelos conceituais explorados procuraram enxergar transições, intercâmbios e relações do vivo para o não vivo.

Houve claro enfoque para compreender como o ciclo da água é tratado pela Ciência do sistema Terra e quais são as diferenças com abordagens de outros campos da ciência e tecnologia. As alterações artificiais do ciclo da água tomaram parte do exame realizado para enfatizar os nexos de ciência, tecnologia e sociedade, ou seja, os modelos conceituais tratam de como fluxo de matéria ocorre em ambiente urbano e, ou, industrial.

Nos debates do Grupo de Estudos, assinalou-se que para explorar, estudar e compreender um sistema é necessário caracterizar um modelo conceitual do processo ou fenômeno examinado. Além disso, é preciso delimitar os reservatórios de material, indicar os fluxos de energia e matéria e quantificar tais fluxos.

Enfatizou-se que os sistemas naturais são abertos (diferentes dos sistemas fechados que ocorrem em laboratório ou em algumas situações de ensino como o terráreo). A noção sistêmica é oposta à abordagem classificatória que muitas vezes predomina no ensino de Matemática, Biologia, Química e Geografia.

É notável que os professores, em alguma medida, alteraram sua percepção de ambiente ao estudar o modelo de ciclo da água. Esta dinâmica associada ao tempo geológico impressionou os professores do Grupo de Estudos e mudou o olhar sobre o tempo, a natureza e a cidade. O modelo mais complexo e integrado permitiu ultrapassar certas aparências e alcançar um exame mais profundo dos processos envolvidos.

Na hora que é introduzida a idéia de modelo científico e, sobretudo, a noção de ciência histórica e hipotética, há certa perplexidade e confusão. Persistem, ainda, muitas dúvidas sobre mecanismos e processos – é preciso considerar que os professores do Grupo de Estudos possuem pouco ou nenhum conhecimento geológico. Usualmente a noção de ciência natural e experimental indica algo que tem validade bastante aceitável e sem grandes questionamentos.

A noção de que o método científico é indutivo e, mais amplamente, de que não existe um método científico foi um aspecto assinalado em algumas discussões. Apesar de aparentemente terem sido discutidos problemas complexos, é preciso chamar atenção para o fato de que para muitos professores toda essa discussão sobre o caráter da ciência não é clara e menos ainda o caráter da Geologia.

CONCLUSÕES

Estamos surpresos em relação à baixa expectativa dos professores quanto ao resultado de suas aulas. Se esses em sua maioria indicam que iniciam a transposição didática a partir de fatos da realidade, que exploram analogias e metáforas, não esperam que seus alunos sejam capazes de aplicar os conhecimentos explorados em sala de aula para sua vida prática (Ver Tabelas 2), apresentam ainda o mesmo nível de resposta em relação a capacidade dos estudantes de diferenciarem as explicações científicas da realidade.

A interação, que se estabeleceu no Grupo de Estudos *Ciência do Sistema Terra e formação continuada de professores*, indica que a idéia de ciência que possuem sobre sua disciplina, muitas vezes, acha-se ligada à concepção de que a ciência não é neutra e deve-se tratar conhecimento científico e tecnológico conjuntamente. Isso é coerente com certas perspectivas preconizadas pelos PCNs para facilitar vínculos do contexto ambiental e conteúdos das disciplinas escolares. Mas é preciso lembrar que as Propostas Curriculares do Estado de São Paulo, elaboradas na década de 1980, enfatizaram o

cotidiano no ensino e por vezes é muito difícil separar esta perspectiva daquela defendida pelos PCNs. Ao mesmo tempo, a tabulação dos resultados do *Perfil do Professor de nível médio da Região de Ribeirão Preto* e o exame da situação inicial dos professores do Grupo de Estudos em 2003 não sugerem uma idéia de ciência dinâmica que muda seus conceitos ao longo do tempo e que, portanto, possui uma história. Conseqüentemente podemos inferir que os modelos conceituais empregados nas aulas pouco ajudam os alunos a compreender o caráter provisório do conhecimento científico e os mecanismos de pesquisa. Em outros termos, mesmo quando modelos analógico pedagógicos são empregados, pouco contribuem para formar a idéia de natureza da ciência.

A precária, limitada e fragmentada concepção de Ciência do sistema Terra dos professores não capacita para desenvolver de forma sistêmica, hipotética e temporal a desejável integração de informações ambientais dos modelos conceituais geológicos. Foi considerado, contudo, que a abordagem ambiental da Ciência do sistema Terra é adequada para possibilitar a contextualização de tópicos do ensino médio.

Neste momento, a pesquisa encontra-se em andamento. Os professores do Grupo de Estudos estão aplicando as propostas formuladas e avaliando seus resultados. Dessa forma, não houve validação dos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEN-ZVI-ASSARAF, Orit; ORION, Nir. The development of system thinking skills in the context of Earth System Education. **GeoSciEd IV**, Calgary (Canadá), Aug. 10-14, 2003, In: CONFERENCE PROCEEDINGS, p.10.
- BURBANK, Mary D.; KAUCHAK, Don. An alternative model for professional development: investigations into effective collaboration. **Teaching and Teacher Education**, v. 19, n. 5, p. 499-514, Jul. 2003.
- FRODEMAN, Robert. Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. **Geological Society of America Bulletin**, v.107, n.8, p.960-968, 1995.
- GOBERT, Janice D. A typology of causal models for plate tectonics: inferential power and barriers to understanding. **Int. J. Sci. Educ.**, v. 22, n. 9, p.937-977, 2000.
- GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. A typology of school science models. **Int. J. Sci. Educ.**, v. 22, n. 1, p. 1-11, 2000.
- GUIMARÃES, Edi Mendes. A contribuição da Geologia na construção de um padrão de referência do mundo físico na educação básica. **Revista Brasileira de Geociências**, v.34, n.1, p. 87-94, 2004.
- HARRISON, Alan G.; TREAGUST, David F. A typology of school science models. **Int. J. Sci. Educ.**, v.22, n.9, p.1011-1026, 2000.
- IZQUIERDO AYMERICH, Mercè. Hacia una teoría de los contenidos escolares. **Enseñanza de las Ciencias**, v.23, n.1, p.111-122, 2005.
- LEDERMAN, Norman. Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: factors that facilitate or impede the relationship. **Journal of Research in Science Teaching**, v.36, n.8, p.916-929, 1999.
- POTAPOVA, M. S. Geology as an historical science of nature. In: Progress Publishers. **The Interaction of Sciences in the Study of the Earth**. Moscow: Progress Publishers, 1968. p.117-126.
- PSILLOS, D.; KARIOTOGLOU, P. Teaching fluids: intended knowledge and students' actual conceptual evolution. **Int. J. Sci. Educ.**, v.21, n.1, p.17-38, 1999.
- TREAGUST, David F.; CHITTLEBOROUGH, Gail; MAMIALA, Thapelo L. Students' understanding of the role of scientific models in learning science. **Int. J. Sci. Educ.**, v.24, n.4, p.357-368, 2002.
- VAN DRIEL, Jan H.; VERLOOP, Nico. Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modeling in science. **Int. J. Sci. Educ.**, v.24, n.12, p.1255-1272, Dec. 2002.

AGRADECIMENTOS

Os autores reconhecem a colaboração dos professores do Grupo de Estudos *Ciência do Sistema Terra e formação continuada de professores* e das auxiliares de pesquisa Ana Paula Mestre e Rosana Valentim da Silva.