

INDICADORES PARA DESCREVER MODELOS DO CICLO DA ÁGUA

FINDINGS TO STUDY MODELS OF CYCLE OF WATER

Pedro W. Gonçalves¹

Natalina A.L. Sicca², Jesus A. Ribeiro³, Maria Â. Garófalo⁴, Maurílio A.R. Alves⁵

¹Universidade Estadual de Campinas/ Instituto de Geociências/ Departamento de Geociências Aplicadas ao Ensino, pedrog@ige.unicamp.br

²Centro Universitário Moura Lacerda/ Mestrado em Educação, nalsicca@yahoo.com.br

³Rede Municipal de Ribeirão Preto

⁴Diretoria de Ensino da Região de Ribeirão Preto, magarofalo@uol.com.br

⁵Universidade de São Paulo/ Departamento de Biologia Campus de Ribeirão Preto

Resumo

Este trabalho procura formular indicadores para descrever o ciclo da água. Considera os modos mais freqüentes de aparecimento desse modelo, procura casos em que há um modelo global e integrado e aproxima o debate do ensino desse modelo. Recorre a atividades realizadas pelo Grupo de Estudos *Ensino de Ciência do sistema Terra e formação continuada de professores* de 2003 a 2006. No período foi constituído um processo de formação continuada de professores mediante pesquisa colaborativa cujos resultados possibilitam acompanhar mudanças no ensino médio. O ensino de Ciência do sistema Terra mostrou-se importante catalisador de projetos de inovação curricular para ensinar o ciclo da água. Os eixos curriculares perseguidos trataram do ciclo da água, teoria de sistemas, local e cidade e tempo geológico. Houve mudança no modelo de ciclo da água a medida que os professores implementaram inovações curriculares com seus alunos.

Palavras-chave: Ensino de Geociências, ciclo da água, modelo, formação de professores

Abstract

This work searches to construct findings to understand the cycle of water. Firstly, we examine the often ways of occurrence of model, we search for special situations which the model is whole and integrated, we bring the teaching and learning of this model. We analyze the activities of Group of Studies *Teaching of Earth System Science and continuing teaching education*, from 2003 to 2006. During this period, there was a continuing education by means of collaborative research. The results of collaborative research give information on changes on secondary level of teaching. The teaching of Earth System Science was important to curricular innovations. The main curricular ways followed the guides on cycle of water, theory of systems, place and city, as well as geologic time. There were changes of models of cycle of water when teachers applied curricular innovations on their students.

Keywords: Teaching of Geosciences, cycle of water, model, teacher education.

INTRODUÇÃO

Atualmente há um significativo número de atividades de formação continuada para professores nas áreas de ciências. Apesar disso, é bem menor o número de trabalhos dedicados a acompanhar os resultados dessas iniciativas.

Esta pesquisa visa construir indicadores que possam ajudar a avaliar inovações curriculares voltadas para ciências da Terra. Parte-se da idéia de modelo científico e pretende explicitar indicadores que possam descrever o modelo de ciclo da água.

Faz-se, ainda, uma primeira tentativa de aplicar esses indicadores para revelar a abrangência e os limites de inovações curriculares desenvolvidas por professores do ensino médio que participaram de programa de formação continuada na área de Geociências.

NECESSIDADE DE MODELOS PARA ENSINAR CIÊNCIAS

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.

Isso põe 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.

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.

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 ligado ao ensino.

O primeiro modelo acha-se organizado no âmbito da produção da ciência. Ao longo do tempo gerou 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.

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, transformações químicas, distribuição genética, etc.); em outros casos os modelos adotados são excessivamente simplificados, pouco valor atribuem à aprendizagem, desconsideram problemas e dificuldades comuns das crianças (ciclo da água, explicação da maré, estações do ano, etc.). Ambos criam obstáculos para os alunos compreenderem os conceitos envolvidos e os nexos com sua própria vida.

Carvalho (2002) enfatiza a importância de vivências reflexivas e inovadoras do ensino e a seleção de certos problemas que caracterizam eixos capazes de orientar atividades dos professores. Assinala, ainda, a necessidade de combinar conteúdos específicos da disciplina dos participantes e a dimensão pedagógica.

Essa contribuição sobre formação de professores ajuda a delimitar o foco da pesquisa em torno das dificuldades cognitivas e teóricas envolvidas pelo modelo de ciclo da água. Ao longo do processo de formação continuada, mostrou-se um aspecto crucial para avançar o próprio modelo mental dos professores que participaram do Grupo de Estudos.

Harrison e 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 a 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.

Os limites deste estudo conduzem aos modelos dedicados às ciências da Terra. Gobert (2000) enfatiza que modelos geológicos distinguem-se daqueles que utilizados pela Física ou Química: 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).

CONCEPÇÃO DE ENSINO DE CIÊNCIAS DA TERRA

O ciclo da água constitui um modelo científico de ampla aplicabilidade para estudos ambientais. Sua relevância é reconhecida em uma multiplicidade de áreas de conhecimento naturais e sociais. Aceita-se que tal conjunto de informações é tão relevante que acha-se previsto em currículos do ensino básico de distintos países: Brasil, Reino Unido, Israel, etc.

Ao mesmo tempo, o caráter interdisciplinar dos problemas propostos pelo ciclo da água, depende de diversificado conjunto de dados da Física, Química, Biologia, Geologia, Meteorologia, Demografia, Urbanismo, etc. Tipicamente é estudado de forma parcial, geralmente associada a problemas específicos de certo campo de conhecimento.

O tratamento mais usual do ciclo da água em materiais destinados ao ensino básico expõe um modelo exageradamente simplificado que privilegia o subciclo atmosférico e, conseqüentemente, despreza a maior parte do ciclo (subciclos subterrâneo, biológico, suas escalas espaciais e temporais, etc.). Pouca atenção atribui às dificuldades de aprendizagem de mudança de estado. Nenhuma importância é dada a vínculos com modelos locais e ambientais. De fato, esse modelo é nocivo à formação da consciência ambiental pois não pode ser aplicado ao entendimento dos fenômenos naturais, tão pouco ao tratamento de problemas ambientais tais como a contaminação ou abastecimento da água.

Esse modelo reduzido não é ensinado apenas no Brasil. Autores de outros países relatam problemas semelhantes em livros didáticos, p.ex. em Israel (Ben-Zvi-Assarf e Orion, 2005a).

Um avanço educacional decisivo no âmbito do ensino de ciências da Terra para um tratamento mais completo e integrado do ciclo da água foi a publicação da versão comercial do *Investigating the Earth*. Em 1966, uma ampla equipe formulou um currículo destinado a alunos de 16-17 anos de idade e buscou abordar de forma integrada as múltiplas dimensões do ciclo da água. O tratamento é analítico e indica os principais reservatórios do planeta, os fluxos de matéria de um para outro (e a energia relacionada a tais transformações) e conduz a um tratamento sintético que compõe o ciclo integrado, bem como suas manifestações globais e regionais. As escalas de espaço envolvidas e a magnitude dos reservatórios é claramente explorada (ESCP, 1973).

A dinâmica física que envolve as mudanças de estado da água e as condições energéticas de distintos locais (nuvens, ambientes glaciais, vegetação) caracterizam mais claramente o fenômeno natural e suas fontes de energia (solar e gravitacional).

Seleção e organização de conteúdo muito similar para tratar a água encontra-se em Strahler e Strahler (1973), ou seja, fluxos de matéria e energia do ciclo da água passam a ser estudados na perspectiva de parte do *sistema terrestre* que inclui fenômenos físicos e sociais. O termo *sistema* já é usado por essa obra.

Depois desses livros, uma tendência caracterizou as obras de ensino de Geociências: o ciclo da água passou a ser tópico obrigatório.

Mackenzie (1998) exemplifica uma abordagem atual do ciclo da água para ensino de Geociências. O tratamento é configurado no âmbito da Ciência do sistema Terra. Explica os ciclos biogeoquímicos que funcionam no presente e no passado geológico. A interferência humana é claramente marcada e o enfoque ambiental é enfatizado.

O ciclo da água é estudado a partir da descrição física da atmosfera e há ênfase ao caráter sistêmico do balanço radiante, ou seja, a Terra é tomada como um corpo cósmico em sua interação no sistema Sol Terra. A atmosfera é descrita em termos de sua composição química atual e seus estratos, enfatiza-se o papel de cada estrato na dinâmica que vai garantir a existência da biosfera. Explicam-se as características da estratosfera e troposfera, suas composições e mecanismos ambientais importantes. Isso permite a descrição da circulação atmosférica, formação e movimentos de massas de ar podendo conduzir à interação com os reservatórios de água (formação de climas, nuvens, etc.). O tópico seguinte trata diretamente do ciclo da água. São apresentados os reservatórios, suas dimensões, mecanismos que ocorrem em cada reservatório (cada reservatório é tratado como um sistema para, em seguida, explicitar os balanços e trocas com outros reservatórios, taxas e balanços). Tal conjunto de informes permite conduzir às interações atmosfera e hidrosfera e ao movimento global da água de um reservatório para outro no presente.

O tratamento feito por Mackenzie (1998) não é essencialmente diferente daquele presente em Strahler e Strahler (1973) e ESCP (1973).

Mesmo o texto de Abbott (2004) dedicado à Geologia Ambiental procura fazer uma descrição física do ciclo da água. Reúne em um só capítulo certo conjunto de conceitos e

processos que tratam dos ciclos geológicos e trata o ciclo da água esquematizando qualitativa e quantitativamente seus reservatórios, mas atribui pouca importância às passagens de um reservatório para outro exceto no estudo de acidentes (enchentes, erosão acelerada, escorregamentos, etc.).

Até certo ponto, a abordagem de Abbott (2004) ultrapassa o valor usualmente atribuído ao ciclo da água quando comparado a textos mais tradicionais de mesma abrangência. Keller (2000) – tradicional livro de Geologia Ambiental, cuja primeira edição é de 1988 – e Keller e Blodgett (2006) mencionam o ciclo da água de forma bastante resumida, talvez suponham que seus leitores já possuem modelo mental integrado do fenômeno.

Desse apanhado sobre o desenvolvimento do modelo de ciclo da água em livros destinados ao ensino de Geociências podemos tirar certo conjunto de indicadores que podem ajudar a descrever a abrangência atribuída ao tópico. Esses elementos ajudam a delimitar o que deveria ser ensinado aos alunos, tratamento mais abrangente ou mais restrito. Mas antes de ir adiante, consideramos pesquisas feitas sobre ensino e aprendizagem do ciclo da água.

Rebich e Gautier (2005) conduzem um curso de Geografia para ensinar mudança climática. Revelam problemas de ensino que dificultam a aprendizagem significativa. A primeira dificuldade dos alunos foi compreender balanço radiante terrestre. O problema situa-se no modelo de balanço de ondas longas e ondas curtas, ou seja, que a Terra intercambia com o espaço (os alunos confundem o *input* solar como algo decorrente do buraco da camada de ozônio).

O ciclo da água está diretamente vinculado à distribuição de energia solar na superfície. Uma idéia fragmentada e, ou, incorreta cria um primeiro obstáculo para compreender o sistema hidrológico.

Os mesmos autores exploram dificuldades de aprendizagem do efeito estufa. Os alunos acabam fazendo uma analogia direta entre efeito estufa e inversão térmica, para eles o efeito estufa é um aprisionamento extra de calor devido às nuvens ou aos gases estufa.

Dickerson e Dawkins (2004) examinam os problemas comuns dos alunos para compreender o que acontece no aquífero (reservatório da água subterrânea). Modelos mentais dos alunos exibem a idéia de um reservatório contínuo, suas concepções formam analogias entre reservatório e rios subterrâneos. Mesmo quando essa analogia direta é superada e os alunos adotam uma linguagem mais específica (porosidade, permeabilidade, capilaridade), muitas vezes persiste a idéia de que não é possível ter uma rocha com água e os poros são confundidos com grandes buracos ocos do tamanho de bolas de futebol ou ainda maiores.

Shepardson et al. (2005) discutem problemas na formação do conceito de divisor de águas, noção crucial para construir a idéia de bacia hidrográfica e intimamente relacionada ao problema do relevo. A maior dificuldade dos alunos mais velhos parece associada à dificuldade de aplicar o conceito de gravidade para imaginar o comportamento da água. Alunos imaginam um divisor de água como um grande morro e parcela dos alunos não indicaram que a água do rio pode carregar materiais (sedimentos e poluentes). Os autores sugerem que é necessário construir conceitualmente essa noção e enfatizar a existência de microbacias na superfície terrestre.

Em dois artigos de 2005, Ben-Zvi-Assaraf e Orion procuram explicar os problemas de aprendizagem dos alunos diante de uma visão integrada do ciclo da água. Assinalam que o subciclo atmosférico é rapidamente compreendido, mas uma visão fragmentada do ciclo persiste principalmente devido às dificuldades de compreender o subciclo subterrâneo, a água nos seres vivos, vários aspectos relativos às variáveis dos fenômenos físicos (passagem de estado, balanços que caracterizam o sistema, etc.). Ben-Zvi-Assaraf e Orion (2005a) sugerem que para melhorar a aprendizagem o ensino deve ter atividades de campo, atividades experimentais e de manipulação. Tal arranjo deve permitir que os alunos questionem o seu conhecimento, indiquem contradições do senso comum.

A partir desse quadro apoiado, de um lado, nas características didáticas dos modelos educativos do ciclo da água e, de outro, nas dificuldades dos alunos, construímos alguns indicadores para acompanhar o desenvolvimento de atividades educativas, bem como para avaliar os resultados de atividades realizadas com alunos. Houve preocupação estratégica de privilegiar a dinâmica ambiental e aplicar conceitos escolares a situações naturais (extra muros).

- a. Visão do subciclo atmosférico.
- b. Identificação de drenagens, microbacias e movimentação de águas superficiais na malha urbana.
- c. Identificação de águas subterrâneas, tomadas como corpos contínuos e confundidos com corpos superficiais (lagos, represas, rios, etc.).
- d. Uso de terminologia e linguagem técnica relativa às águas subterrâneas (porosidade, permeabilidade, capilaridade).
- e. Entendimento da magnitude relativa dos reservatórios do ciclo da água (oceano, geleira, aquífero, águas superficiais, água na atmosfera, água na biosfera).
- f. Entendimento das escalas espaciais envolvidas no ciclo da água e a transferência realizada pela atmosfera dos oceanos para os continentes.
- g. Visão de taxas e fluxos entre os reservatórios do ciclo da água, inclui o balanço de energia e matéria dos processos.
- h. Identificação da água presente nos seres vivos.
- i. Entendimento das reações químicas envolvidas no ciclo da água (origem da salinidade dos oceanos, dissoluções operadas na interface hidrosfera e geosfera).

Tais indicadores não correspondem à seqüência unidirecional e, ainda, precisam ser considerados dentro da especificidade de trajetória de distintos modos para selecionar e organizar os tópicos relativos ao ciclo da água.

Cada situação examinada (programa, itens, aulas, planejamentos, etc.) precisa ser organizada de tal modo que revele a estrutura hierárquica e seqüência de assuntos e atividades que ajudem a compreender o desenvolvimento realizado com e pelos alunos.

PRESSUPOSTOS ASSUMIDOS PELA PROPOSTA EDUCACIONAL

Busca-se aplicar esses indicadores para examinar inovações curriculares produzidas por professores do ensino médio, da rede pública de uma cidade do interior de São Paulo, que participaram do Grupo de Estudos *Ensino de Ciência do sistema Terra e formação continuada de professores*. Trata-se de um programa de formação continuada de professores. Participaram professores de Biologia, Física, Geografia, História, Matemática e Química.

O Grupo de Estudos sobre *Ensino de Ciência do sistema Terra e formação continuada de professores*, desde sua origem (2003), foi constituído dentro de uma perspectiva de pesquisa colaborativa entre professores de distintas disciplinas, assistentes técnicos da Diretoria de Ensino (rede estadual) e pesquisadores de distintas áreas da universidade.

Construir a inovação curricular passa por um processo de planejamento coletivo marcado pela presença de professores com formação diferente (p.ex., um biólogo planeja suas aulas junto com um historiador) que irão desenvolver suas aulas individualmente embora, em alguns momentos, com a presença e interferência do colega de outra disciplina.

Uma marca do trabalho do professor como funcionário público é o isolamento, a dificuldade de mudar as relações sociais dentro da escola. O Grupo de Estudos representa um momento de interação não só dos professores que promovem a articulação de seus saberes, mas também oferece a possibilidade dos professores conhecerem o que acontece em outras escolas. Dessa forma, é um espaço que estabelece uma mediação entre a escola (com seu caráter institucional, burocrático e local de ensino) e o conhecimento científico (ambiente em que explicações e modelos científicos são constituídos, tanto em termos do conteúdo específico,

quanto em termos pedagógicos). Contribui, assim, para mudar o modelo mental que o professor possui do ensino e, dessa maneira, as atividades do Grupo de Estudos constituem um processo de formação continuada, uma ruptura com rotinas e isolamento que caracteriza o trabalho do professor. Trata-se de formar um professor que promova a introdução de conceitos das Ciências da Terra no ensino de seu próprio componente curricular, podendo assim introduzir a *contextualização* a partir do contexto do ambiente.

A inovação curricular (Arroyo, 2000) implementada pelo Grupo de Estudos opera em um campo que enfatiza as dimensões da autonomia do professor ao mobilizar o currículo em ação (Gimeno Sacristán, 1998). Acompanham-se as perspectivas de políticas microcurriculares de Pacheco (2003), bem como as possibilidades de um traçado mais autônomo do professor na dimensão do currículo em ação. Especificamente tenta-se construir um espaço diferenciado como é sugerido pelo conceito de *integração curricular* exposto por Beane (2003).

Adota-se a perspectiva que o professor tem o que dizer sobre o ensino e, portanto, tem condições de reivindicar conhecimentos necessários para a inovação curricular a partir do saberes adquiridos por sua prática desde sua formação inicial.

O debate sobre modelos e seu uso no ensino de ciências foi adotado nessa trajetória. Uma das funções do Grupo de Estudos é criar condições mais favoráveis para que os professores tenham fontes adicionais para organizar a inovação curricular (teses acadêmicas, contato com pesquisadores e técnicos, etc.) de modo a não depender tão significativamente do livro didático. Dessa maneira, o Grupo constitui um espaço de mediação entre o que ocorre cultural e cognitivamente na escola e a produção do conhecimento científico.

A formação de professores defendida pelo Grupo de Estudos reúne a inovação curricular ao esforço por alargar a autonomia do professor. Isso passa pela sala de aula, mas precisa quebrar rotinas e conduzir o professor a refletir como construir uma escola democrática (Beane e Apple, 1997).

PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

O Grupo de Estudos mantém mecanismos para registro das mudanças que ocorrem nas atividades dos professores.

Reuniões semanais são gravadas em áudio e transcritas para revelar raciocínios e tomadas de atitude dos participantes. Adicionalmente entrevistas individuais ou em pequenos grupos flagram crenças e pontos de vista sobre o ensino.

Muitas aulas de inovação curricular contam com observador que registra o desenvolvimento do currículo e apresenta relatos ao professor como contribuição à formação continuada. Os professores preparam relatórios individuais e em pequenos grupos para sistematizar suas atividades e compará-las com a literatura de ensino de Geociências.

Além disso, no período sob estudo, professores prepararam sua inovação curricular para apresentar a outros professores e em eventos técnico-científicos.

De todas as etapas é possível extrair elementos que indicam o modelo de ciclo da água adotado pelos professores, seus limites, deficiências e avanços.

O CICLO DA ÁGUA COMO OBJETO DE ENSINO: A INOVAÇÃO CURRICULAR CONSTRUÍDA PELOS PROFESSORES

O Grupo de Estudos definiu como temática a ser investigada o estudo do ciclo da água e assumiu como eixos curriculares para aprofundamento e desenvolvimento de inovações curriculares com alunos: teoria de sistemas, tempo geológico, local e cidade.

É uma tentativa de responder a complexidade que caracteriza nosso conhecimento, aos desafios da educação e da cultura conforme expostos por Morin (2002). A necessidade de um

novo espírito científico que procure diminuir as fronteiras entre as disciplinas para tratar e revelar um tratamento interligado de conhecimentos fez parte da mudança de atitude diante do conhecimento preconizada pelo autor e que influenciou algumas tomadas de decisão do Grupo de Estudos. A opção ambiental enfatizada por Morin (2002) conduz ao valor estratégico que ele mesmo atribuiu às ciências da Terra como meio de aproximar conhecimentos de vários campos científicos.

Blanchet (2005) assinala que não se pode simplesmente transpor da ciência para o ensino os debates e os desafios, mas valoriza aspectos nucleares que precisam fazer parte do ensino em torno do planeta: a observação é crucial na montagem desse conhecimento e isso deve ser assinalado pelo currículo das escolas quando pretendem voltar-se para o problema da complexidade.

Os espaços de aproximação das disciplinas revelaram intersecções insuspeitas nos momentos iniciais de debate do Grupo de Estudos. Ligações entre Matemática e História, Biologia e Geografia puderam ser montadas porque houve uma clara opção de transformar locais da cidade em alvos de estudo. Levantamentos feitos pelos professores com ajuda de seus alunos conduziram à observação e coleta de dados para tratar de um alvo complexo e não redutível ao conhecimento de uma única disciplina.

CARACTERÍSTICAS DE MODELO DE CICLO DA ÁGUA DESENVOLVIDO

A trajetória dos participantes do Grupo de Estudos partiu do aprofundamento dos conceitos relativos ao ciclo da água, problemas de ensino de Geociências e aumento da percepção de reservatórios e fluxos de água na cidade para, depois, construir a proposta conduzida junto aos alunos. Estes freqüentemente foram engajados em levantamentos de dados sobre os locais e, ao mesmo tempo, aprofundaram os conteúdos de cada componente curricular, bem como, trataram das intersecções ou aspectos complementares de disciplinas distintas.

O modelo de ciclo da água passou a estar vinculado aos caminhos locais da água: estudos de bacias e microbacias hidrográficas, investigação sobre águas subterrâneas, bem como seus balanços no presente e no tempo.

Portanto se, de um lado, os professores sugeriram que tratar o local conseguiria engajar os alunos e obter maior eficácia do ensino, de outro, o local passou a ser uma diretriz curricular da inovação empreendida pelos professores. Evidentemente transformar o cotidiano ordinário em destaque extraordinário dependeu de levantamentos e pesquisas promovidos pelos professores sobre esses alvos.

A **microbacia do córrego dos Campos** foi uma área das mais frutíferas. Gerou estudos que construiu pontes de distintas disciplinas do ensino médio e articulou diferentes unidades escolares em atividades comuns. O ciclo da água foi tratado desde a perspectiva dos professores da Biologia, Geografia, História e Matemática. Cada disciplina explorou o local e lançou mão de trabalho de campo. Os estudos cruzaram o entendimento das transformações materiais no tempo, construindo um caminho da história natural para história da agricultura e da urbanização. O fio condutor foram técnicas de exploração da água em cada momento do tempo (geológico, geomorfológico, histórico, demográficos e urbano). Tratou dos ciclos do café e cana que ocorreram no século XX.

O ciclo da água foi tomado de forma global e decomposto em subciclos com especial ênfase às passagens da água superficial para subterrânea e vice-versa. A microbacia foi examinada em termos de seu balanço hídrico e da água como agente transformador do relevo e responsável pela formação dos solos. Embora os parâmetros geoquímicos não tenham sido esmiuçados com os alunos, foi dada atenção à transformação dos minerais das rochas (basalto) durante o intemperismo por meio de experimentos. A ênfase da Matemática foi na Geometria e, dessa forma, foram exploradas idéias sobre dimensões da bacia e sua organização espacial.

Estudos biológicos reconheceram a presença da água nas plantas, tipos diferentes de plantas (no baixo e no médio curso do córrego) e os efeitos da impermeabilização decorrentes da urbanização.

É preciso assinalar que três unidades escolares estudaram o córrego dos Campos, em anos diferentes com grupos distintos de alunos, oito professores debruçaram-se sobre o local.

Estudos em **áreas de proteção natural (Mata de Santa Tereza e Bosque Municipal)** abriram possibilidade de intersecção de dois professores (um de Geografia e outro de Biologia). A água foi estudada no presente, nos seres vivos, no seu papel ecológico, bem como no tempo geológico por meio da Geomorfologia. Partiu de uma visão global do ciclo da água e explorou o papel ecológico da água nas plantas, reconheceu diferenças na vegetação de acordo com a disponibilidade ambiental de água em diferentes partes do relevo (baixo vale e meia encosta) em local com solo pouco espesso.

Uma multiplicidade de enfoques foi dada ao abastecimento de água – todo ele feito por exploração de água subterrânea (**Aquífero Guarani e ecologia**). Professores de Biologia, Física, Geografia e Matemática debruçaram-se sobre o estudo da água subterrânea. Houve um tratamento inicial global do ciclo da água. Buscou-se compreender o subciclo da água subterrânea, seus nexos com a geosfera (por meio de fenômenos físicos, gravitacionais e químicos) e a magnitude do aquífero da cidade. Houve atividades experimentais e de campo, bem como uso de múltiplas linguagens (visual, oral, matemática). Implicações científicas e técnicas foram montadas explorando noticiário da imprensa – o que forneceu certo caráter de *ciência, tecnologia e sociedade* ao enfatizar a superexploração da água e suas implicações ambientais.

As **enchentes do Ribeirão Preto** do centro da cidade foram examinadas para refutar o senso comum que indica as atitudes individuais como responsáveis pelas perdas materiais. Foi levantado o histórico de enchentes que mostrou ser um fenômeno presente desde a instalação da cidade no século XIX e a dinâmica pluviométrica que produz os eventos. O estudo do balanço hídrico na bacia, a distribuição de chuvas que produzem enchentes e as características do fluxo das nascentes ao curso médio do ribeirão foram examinados. Houve estudo das características químicas da água, do relevo e as condições geomorfológicas favoráveis para formar enchentes apoiados em levantamento com mapas e atividade de campo. Foi uma possibilidade de reunir professores de Biologia, Física, Geografia e Matemática.

Um subgrupo de professores de Química de distintas unidades escolares buscou articular o estudo de soluções aquosas à dinâmica natural de formação de água subterrânea. Dessa forma, a **contextualização ambiental foi o princípio organizador do currículo de Química**. Foram usadas várias linguagens para revelar como os solutos presentes nas águas subterrâneas mantinham parentesco com a rocha aquífera. Atividades experimentais, visitas a laboratórios de análise de água, apoio de técnicos municipais revelou que o ensino de Química pode ser feito a partir da natureza tendo os fluxos do ciclo da água como eixo condutor do ensino.

DISCUSSÃO

A interação que foi desenvolvida no Grupo de Estudos revela um processo de mudança de modelo mental de ciclo da água dos professores participantes. A medida que aumentaram sua autonomia relativa do livro didático, aprofundaram e esmiuçaram seu modelo mental no período de 2003 a 2006.

Em todas as inovações curriculares implementadas a atividade de campo teve papel relevante (Bonito, 2001). Estudo de campo traz problemas inusitados, imprevistos impossíveis de ser planejados. A atenção dos alunos vai necessitar perceber aspectos pouco comuns e seus nexos com conteúdos de ensino, ao mesmo tempo, muitos aspectos (acontecimentos, locais, etc.)

contribuem para dispersar os alunos. O resultado final implica algo diferente daquilo que ocorre intra-muros, é freqüente a surpresa de professores com a dedicação de alunos usualmente apáticos ou marginalizados na sala de aula.

Esse lado prático conduziu a observações pouco comuns capazes de revelar fluxos de matéria do ciclo da água que geralmente passam despercebidos. O próprio reconhecimento da drenagem superficial urbana, suas microbacias, revela um ciclo da água mais realista do que aquele explorado pelo livros didáticos.

Estudos que tratam do local mudam a estrutura do conhecimento e fontes de informação (Compiani, 2006). Professores recorreram a técnicos municipais, teses acadêmicas, moradores, etc. passam a ajudar a construir o currículo com base em pesquisas já feitas, experiências, memória, etc., ou seja, desde o planejamento até a implementação da inovação curricular, os conteúdos de ensino recebem influência de fontes muito distantes do livro didático e, dessa forma, o modelo ensinado ultrapassa os limites da excessiva simplificação que freqüentemente é adotada pelos livros.

Dessa forma, a água subterrânea foi explorada além do discurso verbal e o subciclo subterrâneo foi investigado em termos de seus balanços e inter-relações com a exploração da água.

Compiani (2006) defende, ainda, que tratar o local põe o foco no particular para contextualizar e gerar maior entendimento do objeto e dos processos que configuraram suas características.

Trazer o ciclo da água para o local não só engajou os alunos do ensino médio, bem como, aproximou seus pais dos problemas que estavam sendo tratados pela escola.

A estrutura curricular montada explorou as dificuldades dos alunos compreenderem o ciclo da água, trabalhou com a idéia de que a abordagem sistêmica necessita ser cuidadosamente construída porque os alunos encontram significativa dificuldade para compreender esses fenômenos (ver o trabalho de Ben-Zvi-Assarf & Orion, 2005b). Por outro lado, trata do local e da cidade, problemas ambientais e sociais semelhantes aos reportados por Rodriguez & Garzón (2003). Esses elementos convergem para um estudo da Terra que por vezes trata principalmente a esfera sólida e aproxima-se da Geologia, outras trata de modo integrado diferentes esferas terrestres e aproxima-se das Geociências de acordo com o cruzamento de temas feitos pelos professores. Portanto, um eixo nuclear para as inovações foi o ciclo da água tomado sob perspectiva sistêmica e geológica. Diversas experiências exploraram a passagem do tempo da natureza para a história humana; isso alargou as escalas de tempo com as quais os alunos trabalham.

Muitas inovações buscaram inspiração semelhante a artigos publicados na obra de Morin (2005), ou seja, construíram a *relição dos saberes*: dois professores estabeleceram intersecções de disciplinas diferentes (Biologia e Geografia); outros professores construíram uma proposta em torno do local, da cidade e do campo (Biologia, Geografia, História e Matemática); outras aproximaram sua disciplina laboratorial de dados brutos de águas naturais (Química e a natureza). De fato, esse tratamento do ciclo da água ultrapassou as fronteiras disciplinares.

CONCLUSÃO

Esta pesquisa revela que é claramente possível articular distintos componentes curriculares do ensino médio por meio das ciências da Terra. Sobretudo seguindo a abordagem ambiental da ciência do sistema Terra encontra-se um caminho promissor para enfrentar diversos problemas curriculares de ciências na escola.

O ciclo da água é assunto complexo e, ao mesmo tempo, promissor para construir essa perspectiva de um ensino que ultrapassa modelos extremamente simplificados e praticamente inúteis para vida dos alunos.

Nesta pesquisa, a atividade de campo revelou-se essencial para construir o modelo de ciclo da água. Possibilitou integrar informes de distintas áreas de conhecimento e propiciou enfatizar reservatórios e intercâmbios pouco estudados (água subterrânea, água nos seres vivos, intercâmbios que ocorrem no solo, etc.).

O modelo de ciclo da água, apesar dos estudos de ensino e aprendizagem presentes na literatura, possui, ainda, dúvidas sobre quais devem ser os caminhos de seu tratamento escolar. Deve haver um tratamento global inicial apesar da complexidade, da magnitude dos reservatórios e dos intercâmbios sistêmicos? Ou deve ser uma construção gradual, vista por partes gradualmente integradas ao longo do currículo escolar (do ensino fundamental ao médio)?

AGRADECIMENTO

Os autores reconhecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecem a colaboração das auxiliares de pesquisa Rosana Valentim da Silva, Ana Paula Mestre e Daliane Cristina Boveloni. Mas agradecem principalmente os professores do Grupo de Estudos de *Ensino de Ciência do sistema Terra e a formação continuada de professores*.

REFERÊNCIAS

- Abbott, P.L. **Natural disasters**. Dubuque(USA): Wm. C. Brown Publishers, 1996.
- Arroyo, M.G. Experiências de inovação educativa: o currículo na prática da escola. In: Moreira, A.B. (Org.). **Currículo: políticas e práticas**. Campinas: Papirus, 1999. p.131-164.
- Beane, J.A. Integração curricular: a essência de uma escola democrática. **Currículo sem Fronteiras**, v.3, n.2, p.91-110, jul./dez. 2003.
- Beane, J.A.; Apple, M.W. O argumento por escolas democráticas. In: Apple, M.W.; Beane, J.A. (Orgs.). **Escolas democráticas**. São Paulo: Cortez, 1997. p.9-43.
- Ben-Zvi-Assaraf, O.; Orion, N. A study of junior high student's perceptions of the water cycle. **J. Geos. Educ.**, v.53, n.4, p.366-373, 2005a.
- Ben-Zvi-Assaraf, O.; Orion, N. Development of System Thinking Skills in the Context of Earth System Education. **J. Res. in Sci. Teaching.**, v.42, n.5, p.518-560, 2005b.
- Blanchet, R. Conhecimento da Terra e educação. In: MORIN, E. (Ed.) **A religião dos saberes: o desafio do século XXI**. 5e. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p.145-150.
- Bonito, J. **As atividades práticas no ensino de Geociências: um estudo que procura a conceptualização**. Lisboa: Ministério da Educação. Instituto de Inovação Educacional, 2001.
- Carvalho, A.M.P. de. A pesquisa no ensino, sobre o ensino e sobre a reflexão dos professores sobre seus ensinamentos. **Educação e Pesquisa**, v.28, n.2, 57-67, 2002.
- Compiani, M. La dimensión horizontal y vertical del lugar, en los trabajos prácticos geológicos. **Alambique (Didáctica de las Ciencias Experimentales)**, n.47, p.38-47, Ene./Mar. 2006.
- Dickerson, D.; Dawkins, K. Eighth grade students' understandings of groundwater. **J. Geos. Educ.**, v.52, n.2, p.178-181, Mar. 2004.
- ESCP (Earth Science Curriculum Project). **Investigando a Terra**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1973.

- Gimeno Sacristán, J. O currículo: os conteúdos do ensino ou uma análise prática. In: Gimeno Sacristán, J.; Pérez Gómez, A. I. **Comprender e transformar o ensino**. Porto Alegre: Artmed, 1998. p.119-148.
- Gobert, J.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, I.M.; Moreira, M.A. A typology of school science models. **Int. J. Sci. Educ.**, v.22, n.1, p. 1-11, 2000.
- Harrison, A.G.; Treagust, D.F. A typology of school science models. **Int. J. Sci. Educ.**, v.22, n.9, p.1011-1026, 2000.
- Izquierdo, M. La contribucion de la teoria del flogisto a la estructuracion actual de la ciencia quimica. Implicaciones didacticas. **Enseñanza de las Ciencias**, v.6, n.1, p.67-74, 1988.
- Keller, E.A. **Environmental geology**. 8e. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- Keller, E.A.; Blodgett, R. **Natural disasters: Earth's processes as hazards, disasters and catastrophes**. New Jersey: Prentice Hall, 2006.
- Mackenzie, F.T. **Our changing planet: an introduction to earth system science and global environmental change**. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- Morin, E. **La cabeza bien puesta: repensar la reforma reformar el pensamiento**. Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión, 2002.
- Morin, E. (Ed.) **A religação dos saberes: o desafio do século XXI**. 5e. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
- Pacheco, J.A. **Políticas curriculares: referenciais para análise**. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- 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.
- Rebich, S.; Gautier, C. A Preliminary Study of Students' Asking Quantitative Scientific Questions for Inquiry-Based Climate Model Experiments. **J. Geos. Educ.**, v.53, n.4, p.355-365, Sep. 2005.
- Rodriguez, J.G.; Garzón, J.C. Cooperação escola-universidade e construção de currículo. In: Garcia, R.L.; Moreira, A.F.B. **Currículo na contemporaneidade: incertezas e desafios**. São Paulo: Cortez, 2003. p.209-253.
- Shepardson, D.P. et al. Water Towers, Pump Houses, and Mountain Streams: Students' Ideas about Watersheds. **J. Geos. Educ.**, v.53, n.4, p.381-386, Sep. 2005.
- Strahler, A.; Strahler, A. **Environmental Geoscience: interaction between natural systems and man**. Santa Barbara (CA): Hamilton Publishing Co., 1973.
- Van Driel, J.H.; Verloop, N. 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.