

DOS MODELOS HISTÓRICOS (HISTÓRIA DA GEOLOGIA) AOS MODELOS DOS ALUNOS. UM ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE OS MODELOS MENTAIS, RESPEITANTES À ORIGEM, AO ARMAZENAMENTO E À CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, REALIZADO COM ALUNOS DO 12º ANO DO ENSINO SECUNDÁRIO PORTUGUÊS

(From historical models (Geology history) to students' mental models. An exploratory study on mental models regarding the origin, storage, and circulation of underground waters in portuguese 12th graders)

Maria Margarida Silva [silvamarg@mail.pt]

Escola Secundária Rafael Bordalo Pinheiro, 2500
Caldas da Rainha - Portugal.

Filomena Amador [famad@univ-ab.pt]

Universidade Aberta. Rua da Escola Politécnica, nº 147
1250 Lisboa - Portugal.

Resumo

O nosso estudo localiza-se na intersecção de três áreas: a história da ciência, em particular a história da geologia, a ciência cognitiva, com especial destaque para a teoria dos modelos mentais de Jonhson-Laird e o ensino das ciências. Os objectivos da investigação foram os seguintes: a identificação dos modelos mentais dos alunos associados à origem, ao armazenamento e à circulação das águas subterrânea e a detecção de eventuais evoluções destes modelos, resultantes das diversas intervenções. A investigação foi realizada com uma amostra de 38 alunos do 12º ano do ensino secundário. No final apresentam-se os resultados obtidos e sugere-se o desenvolvimento de propostas de materiais didácticos, inspiradas na história da geologia e teoricamente fundamentadas neste tipo de estudos.

Palavras-chave: modelos mentais; modelos históricos; ensino de Geologia.

Abstract

Our study are situated in the intersection of three areas: the history of science, in particular the history of geology, cognitive science, with special prominence for the theory of the mental models of Jonhson-Laird and the science education. The objectives of the inquiry had been the following ones: the identification of the mental models of the pupils associates to the origin, the storage and the circulation of groundwaters and the eventual detection of evolution of their models, resultants of the diverse interventions. The inquiry was applied to a sample of 38 students of 12th grade of secondary teaching. Finally we are presented the results and suggest the development of proposals of didactical materials, inspired in the history from the geology and theoretically substantiated in this kind of studies.

Key-words: mental models; historical models; geology teaching.

Introdução

A identificação dos modos de pensar dos alunos, e em especial, da aquisição, do enriquecimento e da revisão das suas representações mentais, relativamente a diversos assuntos, é um aspecto de fundamental importância no ensino/aprendizagem da Ciência. Nas práticas educativas, o professor deve criar situações que suscitem, por parte dos estudantes, a elaboração de explicações, mas que em simultâneo também permitam a sua evolução.

A abordagem escolhida para desenvolver este estudo insere-se num quadro teórico centrado, essencialmente, em dois domínios que se intersectam e que em conjunto se reflectem sobre o ensino das ciências: um epistemológico, na área da história da geologia e outro cognitivista, na área dos modelos mentais. Como Nersessian (cit. em Barberousse *et al.*, 2000) refere “as estratégias de resolução de problemas que os cientistas inventam e as práticas representacionais que eles desenvolveram ao longo de toda a história da ciência são extensões muito sofisticadas e refinadas do raciocínio e dos procedimentos de representação ordinários” (p.191). Esta afirmação coloca em paralelo o desenvolvimento científico e o desenvolvimento cognitivo dos indivíduos. Nersessian (1992) chega mesmo a afirmar, recorrendo aos trabalhos de Jonhson-Laird, que uma teoria científica é como um tipo de sistema representacional. Esta autora realizou investigações sobre os modos de representação e as estratégias de resolução de problemas, em articulação com casos da história da ciência, para reconstruir o pensamento dos cientistas e consequentemente o desenvolvimento científico em campos específicos. Por sua vez, Carey (cit. por Barberousse *et al.*, 2000) também afirma que existe uma similaridade entre o indivíduo e a dinâmica das teorias nas comunidades científicas.

A nosso ver, a análise diacrónica de teorias, incluindo nesta a mudança teórica, poderá contribuir para ultrapassar algumas das dificuldades surgidas no âmbito da tradicional investigação em mudança conceptual. Nersessian (1992) e Giere (1992), entre outros, propuseram “uma analogia” entre os tipos de mudança na estrutura conceptual requeridos na aprendizagem e os que deram lugar às “revoluções científicas”, baseados nas semelhanças entre as crenças dos alunos e as concepções provenientes da história da ciência. A nossa proposta de trabalho insere-se neste tipo de abordagens, em que confluem a história e a filosofia da ciência e a psicologia cognitiva. Por este motivo, a história da ciência e, em particular a história da geologia adquiriu um papel relevante no presente estudo.

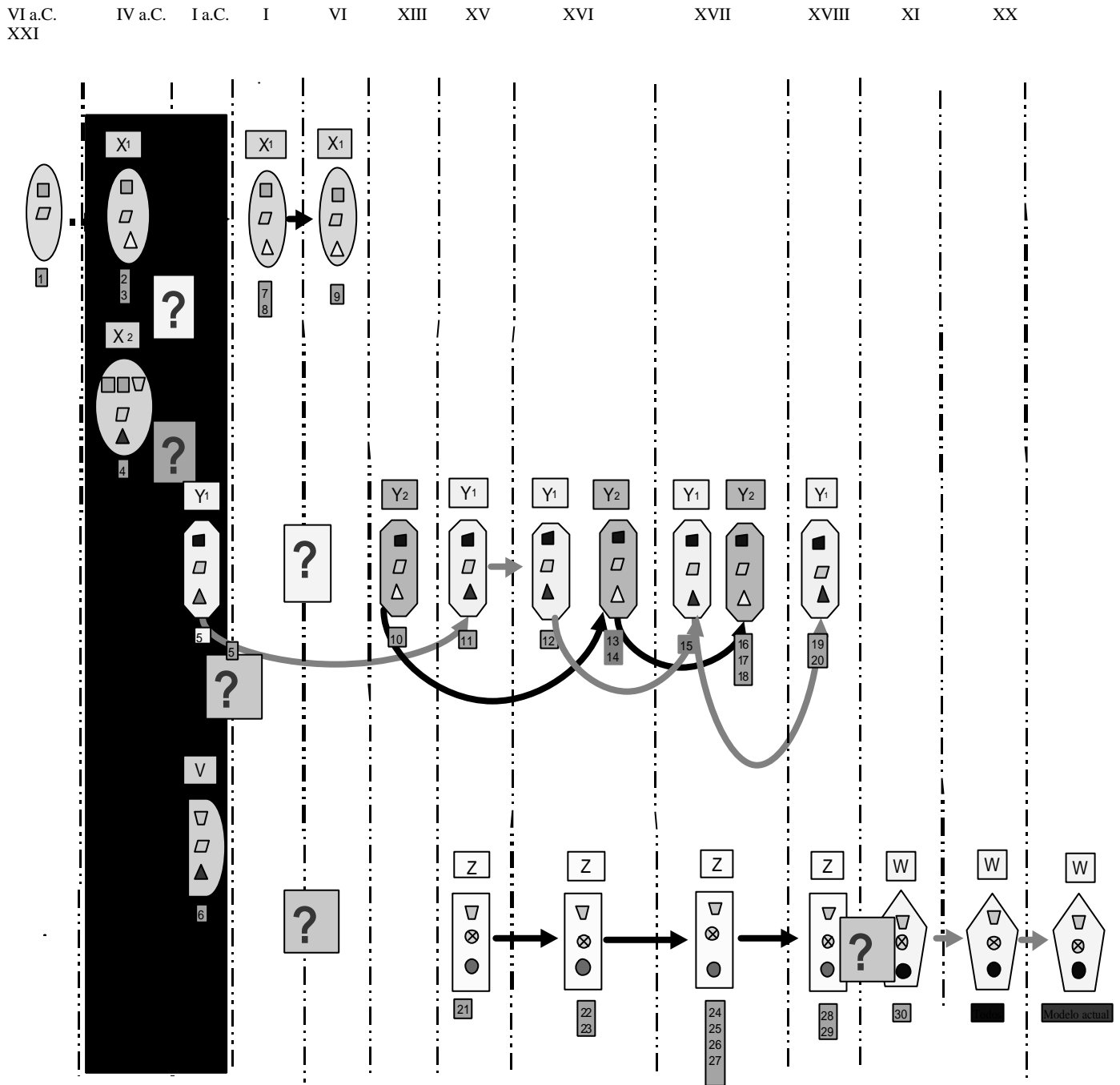
História da Geologia – evolução de modelos teóricos sobre as águas subterrâneas

Tendo como um dos referenciais teóricos o designado Modelo Cognitivo da Ciência, defendido por autores como Giere (1989), consideramos as teorias científicas como as entidades básicas do conhecimento científico. Estas, por sua vez, são formadas por modelos teóricos que estabelecem relações com o mundo através da formulação e da contrastação de hipóteses. Segundo Izquierdo *et al.* (1999), as hipóteses teóricas são “algo assim como predições do que se passaria se o modelo fosse o adequado aos fenómenos em que se está a intervir”, ou seja, as hipóteses vinculam os modelos teóricos aos fenómenos. Contudo, a semelhança do modelo ao mundo nunca é total, ocorrendo apenas nalguns aspectos e com um determinado grau de exactidão.

A adopção deste tipo de referencial conduziu-nos a uma preocupação não só com a análise dos produtos da ciência (teorias), mas acima de tudo com os processos de desenvolvimento da ciência (perspectiva histórica), em particular, com a análise dos modelos construídos pelos cientistas e com os seus ajustamentos e rejeições, ao longo dos tempos. As teorias científicas e os respectivos sistemas de modelos, são entidades que perduram no tempo, permanecendo através da mudança. A identificação e a compreensão do processo de evolução histórica destes modelos, no âmbito das águas subterrâneas, constituiu o ponto de partida do nosso trabalho.

A origem, o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas é um tema que permite com facilidade proceder a este tipo de análise. Desde a Antiguidade Clássica que o Homem se interessa por este assunto, observando e propondo modelos explicativos. Na história da geologia, no que concerne à hidrogeologia, identificámos três períodos importantes no debate e no confronto dos diferentes modelos propostos para a origem, o armazenamento e a circulação das águas

subterrâneas: 1º período - o final da Antiguidade Clássica (séculos IV a.C. ao I a.C.); 2º período - o século XV ; 3º período - o final do século XVIII e princípio do século XIX (quadro I).



Quadro I - Síntese das ideias provenientes da história da geologia sobre a origem, o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas (Silva, 2002).

Legenda do quadro I:

Modelo X1 - modelo que integra uma origem a partir de um mar interior, um armazenamento em canais e cavernas ou reservatórios de água e uma circulação por fluxo e refluxo. **Ideias defendidas por:** 2- Anaxágoras; 3- Platão; 7- Séneca; 8- Plínio; 9- Isidoro de Sevilha.

Modelo X2 - modelo que integra uma origem a partir da água da chuva, da transmutação de elementos e de reservatórios de água interior, um armazenamento em canais, cavernas ou reservatórios de água e uma circulação por exalações frias e quentes. **Ideias defendidas por:** 4- Aristóteles.

Modelo Y1 - modelo que integra uma origem a partir da água do mar; um armazenamento em canais, cavernas ou reservatórios de água e uma circulação por aquecimento e condensação da água e/ou a força dos ventos subterrâneos. **Ideias defendidas por:** 5- Lucrécio; 11- Reisch; 12- Agricola; 15- Kircher; 19- Becher; 20- Barattieri.

Modelo Y2 - modelo que integra uma origem a partir da água do mar, um armazenamento em canais e cavernas ou reservatórios de água e uma circulação por mecanismos do subsolo desconhecidos, como a atracção divina e/ou fluxos e refluxos. **Ideias defendidas por:** 10- Ristoro d'Arezzo; 13- Sennertus; 14- Ortelius; 16- Herbinus; 17- Schotus; 18- Papin.

Modelo V - modelo que integra uma origem a partir da água da chuva; um armazenamento em canais, cavernas ou reservatórios de água e um movimento de descida por infiltração e de subida da água por aquecimento e por ventos subterrâneos. **Ideias defendidas por:** 6- Vitruvius.

Modelo Z - modelo que integra uma origem a partir da água da chuva, um armazenamento em poros e fracturas das rochas e uma circulação nos poros e fracturas devido à permeabilidade e /ou estrutura das formações geológicas. **Ideias defendidas por:** 21- L. da Vinci; 22- B. Palissy; 23- Conrad von Megenberg; 24- P. Perrault; 25- Mariotte; 26- E. Halley; 27- Bartholini; 28- Vallisnieri; 29- John Ray.

Modelo W - modelo que integra uma origem a partir da água da chuva, um armazenamento em poros e fracturas das rochas e uma circulação nos poros e fracturas devido à permeabilidade das formações geológicas e às diferenças de pressão da água. **Ideias defendidas por:** 30- Henry Darcy e todos os autores do séc. XX.

O período da Antiguidade Clássica, do século IV a. C. ao século I a. C. foi fértil em ideias sobre a origem das águas subterrâneas. Podemos identificar três diferentes concepções: i) origem a partir de um mar interior (modelo X1), referido por autores como Homero (~700 a.C.) e Platão (428-347 a.C.); ii) origem a partir da água do mar (modelos Y1 e Y2), referido por autores como Lucrécio (98?-55 a.C.); iii) origem na precipitação atmosférica (modelos V, Z e W), referido por Vitruvius (70?-25 a.C.) e em parte por Aristóteles (384-322 a.C.). Porém, relativamente ao problema do armazenamento e da circulação das águas subterrâneas, as concepções foram muito semelhantes neste período (Ellenberger, 1988).

O primeiro modelo (i) sobre a origem da água subterrânea prolongou-se até ao século VI, altura em que este foi abandonado. Durante os séculos VII a XV, o modelo mais aceite associava as águas subterrâneas às águas dos mares e dos oceanos (Adams, 1954; Ellenberger, 1988). Mas, em relação ao armazenamento e à circulação das águas subterrâneas, as concepções eram idênticas às sugeridas na Antiguidade Clássica.

No século XV, Leonardo da Vinci (1454-1519) após ter estudado minuciosamente esta problemática propôs um modelo para a origem, o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas, já muito próximo do actual, embora ainda influenciado pelas ideias de Aristóteles, Lucrécio e Vitruvius. Leonardo rejeitou alguns dos modelos anteriores, baseado não só em argumentos dedutivos, como também em observações e em experiências. Algumas destas experiências, esquematizadas num dos cadernos de notas de Leonardo, o *Codex Leicester*, serviram de base para a construção de um certo número de questões colocadas durante a investigação.

Leonardo depois de várias discussões aceitou a ideia da água subterrânea provir essencialmente da precipitação atmosférica. O modelo proposto por este autor, modelo Z (quadro I), é “revolucionário” no que diz respeito ao armazenamento e à circulação das águas subterrâneas. O debate e confronto entre os dois modelos Y e Z (quadro I) para a origem, o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas foi muito intenso nos séculos XVII e XVIII.

As concepções do interior da Terra e do ciclo hidrológico foram-se modificando, aumentando os argumentos, as observações e as medições a favor do modelo Z. O modelo de ciclo hidrológico, tal como aceitamos actualmente, foi confirmado no século XVII, por Perrault (1611?-1680), Mariotte (1620-1684) e Halley (1656-1742). Contudo, foi no século XIX que Darcy (1803-1858) propôs a lei do fluxo da água, permitindo construir o modelo científico actual (Todd, 1980; Price, 1996). Este modelo pode resumir-se da seguinte forma: i) a água subterrânea é, essencialmente, proveniente da precipitação atmosférica; ii) o armazenamento da água subterrânea ocorre em formações geológicas porosas e permeáveis (poros, fracturas, cavidades de dissolução e vesículas); iii) a circulação da água subterrânea realiza-se através de poros, fracturas, cavidades de dissolução e vesículas, infiltrando-se na superfície da Terra (hipótese da infiltração) e percolando no interior até à superfície, devido ao gradiente hidráulico ou às diferenças de pressão da água. A análise da evolução histórica destes modelos permitiu identificar as sucessivas mudanças a que foram sujeitos os modelos iniciais e o que dificultou uma mais rápida mudança.

Modelos mentais no ensino das ciências

O termo modelo mental não possui um significado consensual quando utilizado em investigação no ensino das ciências. Não pretendendo entrar na discussão dos diferentes significados atribuídos a este termo, embora este tenha sido um ponto importante na preparação da nossa investigação, é importante referir que adoptámos a concepção de modelo mental defendida por Johnson-Laird (1983), por esta ser, provavelmente, a mais abrangente e a mais utilizada em estudos análogos. Segundo este autor os modelos mentais são representações analógicas de conceitos, objectos ou acontecimentos, formados por elementos (“tokens”) e por relações entre elementos que permitem aos indivíduos que os possuem fazer previsões sobre um determinado sistema físico que o modelo represente de forma analógica (Moreira, 2000). O raciocínio acerca de um problema específico é facilitado, se o indivíduo utilizar e manipular um modelo mental que represente a informação relevante, de forma apropriada, para a sua resolução, não usando as regras de inferência lógica, embora sendo capaz de o fazer (Johnson-Laird, 1983).

Nas últimas décadas, a investigação em modelos mentais, tem-se desenvolvido em diferentes campos da ciência, inclusive no ensino da Ciência. Hodson (1985) e Monk & Osborne, (1997) têm vindo a defender a importância da contribuição da história e da filosofia da ciência, em conjunto com as teorias sobre modelos mentais, nas estratégias de ensino das ciências, de modo a desenvolver os processos cognitivos dos alunos com base nos processos de desenvolvimento da ciência. Uma consulta efectuada, em algumas bases de dados, revelou não se terem ainda realizado investigações, dentro deste quadro teórico no nosso domínio de estudo. Contudo, foram já efectuados estudos de identificação de concepções prévias directamente relacionados com o tema (Meyer, 1987; Bar, 1989; Bar & Galili, 1994; Ramos, 1994; Encabo & Santos, 1994). Embora, estes autores não tenham partido dos mesmos referenciais teóricos que utilizaremos no nosso trabalho, o conhecimento destas pesquisas foi importante por permitir compreender algumas das dificuldades dos alunos, assim como algumas concepções alternativas. Na nossa investigação tentaremos identificar se os alunos da amostra fazem uso de modelos mentais, quando colocados perante situações problemáticas no domínio da hidrogeologia.

Metodologia

Procurou-se que a metodologia utilizada fosse coerente com o quadro teórico subjacente e com as finalidades do estudo, por isso optou-se por uma investigação qualitativa ideográfica, valorizando os significados, as perspectivas pessoais e as interpretações dos sujeitos acerca do tema proposto. A maioria dos investigadores defende o uso de uma grande diversidade de instrumentos de investigação neste tipo de estudos, tendo como critério principal de selecção que estes sejam capazes de gerar representações externas, verbais e pictóricas, que permitam aos investigadores inferir as representações internas dos seus autores.

No nosso trabalho, com carácter unicamente exploratório, utilizámos os seguintes instrumentos, na sequência apresentada: i) questionário constituído por questões abertas, inspiradas em elementos da história da geologia; Vosniadou e Brewer (1992) num estudo visando a identificação das concepções dos alunos sobre o globo terrestre utilizaram aquilo a que designaram por questões “geradoras”, isto é, questões que não pudessem ser respondidas através de simples repetição de informação. As respostas a estas questões deverão revelar um padrão de respostas consistentes se existir uma representação interna (modelo mental); ii) realização de desenhos, mais precisamente completar desenhos previamente construídos pelas investigadoras; os desenhos realizados pelos alunos funcionavam como respostas a questões colocadas; iii) entrevistas semi-estruturadas. Os dados obtidos através destes instrumentos foram alvo de uma análise de conteúdo.

Os dois primeiros instrumentos foram aplicados a uma amostra de 38 alunos do 12º ano do ensino secundário com idades compreendidas entre os 17 e os 20 anos, que frequentavam a disciplina de Geologia. A entrevista foi realizada apenas com uma sub-amostra de 10 alunos. A primeira parte da entrevista era composta por questões baseadas nas respostas do questionário, elaboradas com o objectivo de confirmar modelos mentais já identificados ou evidenciar outros não detectados. A segunda parte da entrevista estava formada por pequenas actividades, construídos a partir de elementos da história da geologia, confrontando-se os alunos com modelos diferentes dos seus e analisando a evolução da sua argumentação.

Resultados

Numa primeira fase são apresentados e analisados, em conjunto, os dados obtidos através das respostas ao questionário e dos desenhos e, numa segunda fase, procede-se à apresentação, a título de exemplo, dos dados obtidos numa das entrevistas. As respostas aos diversos instrumentos foram integradas em categorias de resposta (CR), a maior parte delas, previamente definidas com o apoio da história da geologia.

As questões visavam tornar patente a utilização de modelos mentais na resolução dos problemas propostos, manifesta através de um padrão de consistência das respostas integradas em CR semelhantes. Considerámos como um padrão consistente de respostas quando 4 ou mais respostas (para as questões relativas à origem e ao armazenamento das águas subterrâneas) e 5 ou mais respostas (para as questões relativas à circulação das águas subterrâneas) do questionário foram integradas na mesma categoria de resposta.

Nas respostas dos alunos em que não se encontrou um padrão consistente considerámos não ser possível identificar um modelo mental para o tema, embora nalguns casos estes alunos pudessem ter usado modelos mentais para sub-temas (origem-O; armazenamento-A; circulação-C). Isto indicia que estes estudantes usam possivelmente modelos mentais pouco abrangentes em relação ao assunto em foco.

Os resultados obtidos levam-nos a inferir que, para a origem das águas subterrâneas, grande parte dos alunos da amostra (76%) utiliza um padrão consistente de respostas. Este valor decresce relativamente ao armazenamento (65%) e é ainda mais baixo no que se refere à circulação das águas subterrâneas (26%).

Com mais detalhe, podemos afirmar que os alunos da amostra, compreendem e explicam a origem das águas subterrâneas, utilizando um modelo mental próximo do modelo aceite actualmente (quadro II).

Modelos identificados para a origem das águas subterrâneas	Nº de alunos com um padrão de respostas consistente (mais de 3 respostas na mesma CR)
MMO1	0
MMO2	1
MMO3 ¹	27
MMO4	1
Total de alunos	29

Quadro II - Modelos mentais inferidos a partir das respostas dos alunos para a origem das águas subterrâneas.

Relativamente ao armazenamento das águas subterrâneas a situação já foi distinta. Apenas 5 alunos apresentaram representações externas consistentes com o modelo científico actual, embora mesmo estes nunca se tenham referido nem a cavidades de dissolução nem a vesículas (quadro III).

Modelos identificados para o armazenamento das águas subterrâneas	Nº de alunos com um padrão de respostas consistente (mais de 3 respostas na mesma CR)
MMA1	18
MMA2 ³	5
MMA3	2
Total de alunos	25

Quadro III- Modelos mentais inferidos a partir das respostas dos alunos para o armazenamento das águas subterrâneas.

O sub-tema circulação subterrânea da água foi, contudo, o que apresentou valores mais baixos. Os alunos tiveram dificuldade em serem consistentes e claros nas suas respostas, apresentando uma maior diversidade de modelos face aos restantes sub-temas (origem e armazenamento das águas subterrâneas). Apenas um aluno utiliza o modelo científico correcto (quadro IV). As dificuldades que os alunos apresentam relativamente à compreensão dos processos de armazenamento e de circulação podem ficar a dever-se, em parte, ao facto destes corresponderem a fenómenos não observáveis directamente.

Modelos identificados para a circulação das águas subterrâneas	Nº de alunos com um padrão de respostas consistente (mais de 4 respostas na mesma CR)
MMC1	6
MMC2	2
MMC3 ³	1
MMC4.1	1
MMC5	0
Total de alunos	10

Quadro IV- Modelos mentais inferidos a partir das respostas dos alunos para a circulação das águas subterrâneas

¹ Modelo científico actualmente aceite.

De acordo com o referido podemos considerar que muitos dos alunos utilizam modelos mentais que não são os correctos do ponto de vistas científico, e que estes correspondem, na sua maioria, a modelos já identificados no decurso da história da geologia – modelos históricos. Após a análise dos padrões de respostas usados para cada sub-tema, efectuou-se o cruzamento dessa informação, levando-nos a concluir que apenas 7 alunos poderão, eventualmente, possuir um modelo mental consistente que inclua os três aspectos: origem, armazenamento e circulação das águas subterrâneas, embora apenas um deles corresponda ao modelo cientificamente correcto (quadro V).

Modelos Mentais identificados para o tema através das respostas ao questionário	CR	Nº de Alunos
MM1	O2/A1/C1	1
MM2	O3/A1/C1	3
MM3	O3/A2/C2	2
MM4 ³	O3/A2/C3	1
Total de alunos		7

Quadro V- Modelos mentais inferidos a partir das respostas dos alunos para a origem, armazenamento e circulação das águas subterrâneas.

Os modelos inferidos MM1 e MM2 sugerem que os alunos utilizam com frequência para explicar o armazenamento e a circulação das águas, analogias com fenómenos observáveis a nível: i) das águas superficiais; ii) e da circulação das águas em maciços cárnicos (caso particular das águas subterrâneas). Alguns alunos utilizam termos como “rio subterrâneo”, “canais subterrâneos”, “cavernas” que parecem revelar que os estudantes conhecem os processos de dissolução em meios carbonatados, mas não têm conceitos aceitáveis acerca do armazenamento e da circulação das águas em meios porosos, considerados os mais comuns, devido à falta de conhecimentos físicos e químicos relativos ao movimento dos fluídos.

As entrevistas foram audiogravadas, transcritas e analisadas. As respostas dos alunos às questões colocadas durante a primeira parte da entrevista, foram objecto de análise de conteúdo, com vista à confirmação dos modelos mentais já identificados no questionário e à possível identificação de outros modelos. Quanto à segunda parte da entrevista procedeu-se à análise das respostas dos alunos, sujeitos às tarefas propostas, baseadas na história da geologia, com o objectivo de detectar mudança/enriquecimento nos modelos mentais anteriormente identificados.

A título de exemplo transcrevemos excertos de um questionário e de uma das entrevistas realizadas.

[Respostas do aluno 1 - questionário]

“...as zonas montanhosas (...) tenham muita humidade da água do mar.”;

“Era impossível serem alimentadas pela água das chuvas, pelo que a água vinha da infiltração da água do mar.”;

“Pelo que a água vinha.....por canais para cavernas.”;

“Acumula-se em cavernas e grutas”

³ Modelo científico actualmente aceite.

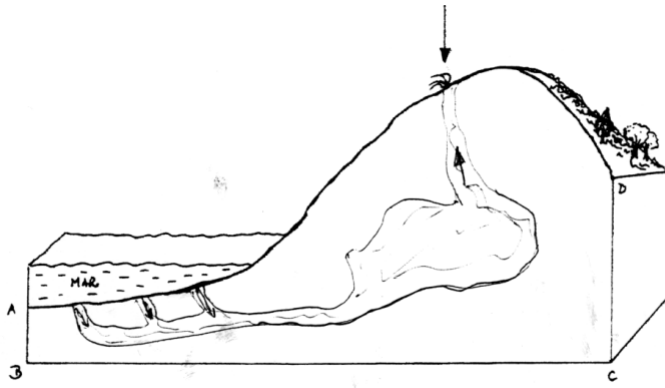


Fig. 1 - Desenho realizado pelo aluno 1 (MM1) no questionário.

[Respostas do aluno 1 - entrevista]

Entrevistadora - É apenas a água do mar que se infiltra?

[ALUNO E1]- Não, a chuva escorre superficialmente, quando se infiltra é utilizada pelas plantas ou é evaporada para a atmosfera....onde não há plantas, geralmente é rocha, escorre na superfície, formando torrentes.

Entrevistadora - Como aparece a água das nascentes em zonas montanhosas?

[ALUNO E1]- A água chega às nascentes através de canais por calor do interior da terra e pressão da água do mar.

Entrevistadora - Essa água é salgada?

[ALUNO E1]- A água das nascentes não é salgada porque a água ao passar pelo calor do interior da terra deposita...liberta-se do sal, devido ao calor... ao aquecimento fica em vapor...e depois ao subir passa a líquida...como é que se chama?... condensação da água.

Entrevistadora - Queres esclarecer melhor o seu trajecto?

[ALUNO E1] - As águas tal como o que expliquei infiltram-se por baixo do mar e...quando vão a muita profundidade, acho eu que aquecem muito porque os canais estão em contacto com rochas muito quentes e por isso chegam à superfície quentes. O que eu penso é que estas águas correm em canais que estão muito profundos e a água aquece mais que as outras que correm em canais menos profundos.

Entrevistadora - Queres completar o desenho de modo a que se compreenda melhor?

[ALUNO E1] - Acho que só posso acrescentar fora do desenho.

Entrevistadora - Queres explicar o desenho?

[ALUNO E1] - Esta água vêm do mar só que na figura não estava.

[ALUNO E1] - (em relação a uma das actividades propostas na entrevista que se referia ao confronto dos modelos históricos) ...Agora tenho a ideia que a água movimenta-se nas fissuras da rocha por causa das diferenças de pressão. Acho que só concordo com a origem da água.

Conclusões

A análise global das respostas só permite identificar o uso de modelo mental (MM4) idêntico ao modelo cientificamente correcto em dois alunos da sub-amostra. Constatou-se também que os quatro modelos mentais detectados através dos questionários e das entrevistas (MM1, MM2, MM3 e MM4) são mais claros e consistentes do que os dois modelos detectados apenas nas entrevistas (MM5 e MM6). Estes dois últimos modelos parecem evidenciar a ligação e/ou a sobreposição de partes ou blocos de outros modelos. Os modelos mentais detectados no estudo levam-nos a considerar que poucos alunos compreendem, de uma forma cientificamente aceitável, os fenómenos hidrogeológicos.

A análise dos resultados relativa às actividades propostas na segunda parte da entrevista, parece indiciar que os modelos inferidos nos questionários e nas entrevistas são mais resistentes à revisão/enriquecimento do que os modelos detectados apenas na entrevista. Por outro lado, os modelos mentais poderão sofrer algumas alterações, quando confrontados com actividades do tipo das que foram propostas na entrevista, baseadas em modelos históricos. Consideramos que este tipo de estudos pode fundamentar estratégias e materiais didácticos que contribuam para o enriquecimento e a revisão dos modelos mentais dos alunos.

Bibliografia

- Adams, F. D. (1954). *The Birth and Development of the Geological Sciences*. New York: Dover Publications.
- Bar, V. (1989). Children's Views about the Water Cycle. *Science Education*, 73 (4), 481-500.
- Bar, V. e Galli, I. (1994). Stages of Children's View about Evaporation. *International Journal of Science Education*, 16 (2), 157-174.
- Barberousse, A., Kistler, M. e Ludwig, P. (2000). *La philosophie des sciences au XXe siècle*. Paris: Flammarion.
- Ellenberger, F. (1988). *Histoire de la Geologie*. Tome I. Paris: Technique et Documentation.
- Encabo, M. J. C. E Santos, J. J. G. (1994). Modelo a escala reducida del funcionamiento de acuíferos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (2.1), 272-278.
- Giere, R. N. (1989). A Natureza da Ciência. *Colóquio Ciências*, nº6, 71-79. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Giere, R. N. (1992). Precis of: Cognitive models of science. *Psycoloquy*, 4 (56).
<http://journals.ecs.soton.ac.uk/resource/psycoloquy?4.56>. (25 de Setembro de 2000)
- Hodson, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- Izquierdo, M.; Sanmartí, N.; Espinet, M.(1999). Fundamentación y Diseño de las practicas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45 - 59.
- Meyer, W.B. (1987). Venacular American theories of Earth Science. *Journal of Geological Education*, 35, 193 - 196.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models*. Cambridge: (MA) Havard University Press.
- Monk, M.e Osborne, J. (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science Education*, 81, 405 - 424.
- Moreira, M. A. (2000). Modelos mentales. Em *Actas de I Escuela de Verano sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias del Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias*. Universidade de Burgos, 297-343.
- Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. Em *Cognitive Models of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
<http://www.cc.gatech.edu/aimosaic/faculty/nersessian/> (10 de Outubro de 2001).
- Price, M. (1996). *Introducing Groundwater*. London: Chapman & Hall.
- Ramos, R. Y. (1994). Balsas de agua y ríos subterráneos. representaciones de los alumnos sobre la circulación freática. su tratamiento en la educación. *Enseñanza De Las Ciencias De La Tierra*, Nº Extra, 76 - 79.
- Silva, M.M. (2002). Origem, armazenamento e circulação das águas subterrâneas. Estudo exploratório das representações mentais de alunos do ensino secundário. Tese de Mestrado. Universidade Aberta. (não publicado).
- Todd, D. (1980). *Groundwater Hidrology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Vosniadou, S. e Brewer, W. F. (1992). *Mental Models of Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood*. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Trabalho arbitrado para o I Encontro Ibero-Americano sobre Pesquisa em Educação Básica em Ciências (I EIBIEC) realizado na Universidade de Burgos, Espanha, co-patrocinado por *Investigações em Ensino de Ciências*.