

Perspectivas actuais sobre o ensino das ciências: clarificação de caminhos*

Jorge Bonito¹

Universidade de Évora, Évora, Portugal
<http://evunix.uevora.pt/~jbonito>

ABSTRACT *The constructivist perspective of learning has contaminated the guidance of the current scientific education, although the role of the student in building and transforming knowledge is assumed in different ways by several authors. One of the main figures in cognitive development is Barbara Rogoff, with the model of learning of thought. The research on the knowledge of the student and of the teacher is currently a subject that has been well investigated in the field of teacher training. Some studies about education have contributed with some distinctive data between the ways of solving problems by a student and the ways used by a specialist. It is possible, at this time, to synthesise the main contributions of cognitive psychology to sciences teaching, in a model of strategies that should be all-embracing; it is named as the “octopus teaching” model.*

KEYWORDS *Science education, science of student, science of teacher, model of teaching science.*

RESUMO *A perspectiva construtivista da aprendizagem contaminou as orientações da educação científica actual, embora o papel do aluno na construção e na transformação do conhecimento seja assumido de forma distinta pelos diversos autores. Um dos vultos do desenvolvimento cognitivo é Barbara Rogoff, com o seu modelo de aprendizagens do pensamento. A investigação sobre o conhecimento do aluno e do professor é, actualmente, um dos aspectos que tem sido bem investigado no campo da formação de professores. Alguns estudos realizados no domínio da educação têm contribuído com alguns dados distintivos entre as formas de resolver problemas pelo aluno e as maneiras utilizadas por um especialista. É possível, no momento, sintetizar os principais contributos da psicologia cognitiva para o ensino das ciências, em um modelo de estratégias que deve ser envolvente, e que é pelo autor designado de “octópode pedagógico”.*

PALAVRAS CHAVE *Educação em ciências, ciência do aluno, ciência do professor, modelo de ensino das ciências.*

*Este documento deve ser referido como segue:

Bonito J. 2008. Perspectivas actuais sobre o ensino das ciências: clarificação de caminhos. *Terræ Didactica*, 4(1):28-42 <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidactica/>>

1 A comunicação original (Bonito 2007) constituiu palestra apresentada no I Simpósio de Pesquisa em Ensino e História de Ciências da Terra e III Simpósio Nacional sobre Ensino de Geologia no Brasil, em Campinas, Setembro de 2007, tendo sido indicada pelos organizadores para ser publicada nesta edição de *Terræ Didactica*.

UM PRÉVIO APONTAMENTO

Este texto é consequência da minha intervenção na Mesa Redonda realizada por ocasião do I Simpósio de Pesquisa em Ensino e História de Ciências da Terra em 5 de Setembro de 2007, organizado pelo IG/UNICAMP. Nesse sentido, quero manifestar, em primeiro lugar, o meu agradecimento ao Doutor Celso dal Ré Carneiro e ao Doutor Pedro Wagner Gonçalves, da Comissão Organizadora desse evento, pelo convite que me foi endereçado para participar como orador e pela oportunidade que me foi proporcionada para apresentar, publicamente, os meus pontos de vista sobre o tema em discussão.

O tema do debate do Programa do Simpósio, no qual participei, foi “Perspectivas do Ensino de Geociências”. Competia-me, em consequência, apresentar um conjunto de pontos de vista e debetê-los sobre este duplo aspecto que, como entendi, o segundo se subordinaria ao primeiro.

Recorrendo a um manual de Física para o 10.º ano de escolaridade (Aido et al. 1985), transcrevo o extracto de um texto que constitui parte da Introdução, que me alimentará nas considerações que fizer de seguida e que pautou, implicitamente, a minha intervenção no Debate.

Os autores do referido manual escrevem, a propósito de Galileo, que:

O seu método de investigação consistiu em observar um dado facto, imaginar uma hipótese que tornasse possível interpretá-lo, recorrer à experimentação para confirmar essa hipótese e, uma vez confirmada, construir sobre ela uma teoria expositiva capaz de permitir a previsão de novos factos. (p. 10)

Este método de trabalho tornou-se, no futuro, o modelo de como se deve orientar uma investigação, e chamou-se-lhe método experimental embora nele o recurso à experiência seja apenas um dos passos do método. Também o mesmo se designa às vezes por método científico, designação menos correcta porque dá a entender que esse será o método, por excelência, a que se recorre na investigação científica, quando não é assim (ver adiante).

Retornando ao tema da Mesa Redonda, verifica-se hoje, sem qualquer dúvida, uma grande quantidade de documentos escritos sobre o papel da “experimentação” e do “trabalho experimental”, em especial das actividades desenvolvidas no laboratório e no campo, no ensino das ciências. Toda a comunidade acadé-

mica reclama trabalho experimental ou, sendo o caso, mais e mais experimentação.

Consideramos, todavia, que esta exigência pode trazer consequências que não são as desejadas. Na verdade, no ensino durante o século XX passou-se de um período onde se usavam variadas demonstrações de conceitos associadas a muita manipulação de equipamento², para um quadro cada vez mais teórico, quer fosse por limitações de recursos quer fosse por opção metodológica ou de natureza curricular³. Posteriormente, já nos últimos vinte e cinco anos, sob influência de reformas educativas operadas em outros países, primeiro nos Estados Unidos da América e depois na Europa, chamou-se para a ribalta o referido “trabalho experimental”, o “trabalho prático” e tudo o que fosse prático, laboratório ou campo, manipulação, enfim, ocupação manual.

É deste último período a criação, em Portugal, das disciplinas de Técnicas Laboratoriais no ensino secundário, no início da década de 1990, pese embora a inexistência de uma fundamentação epistemológica aceitável. Tive oportunidade de ser professor da disciplina de Técnicas Laboratoriais de Biologia I (TLB) no início do ano lectivo de 1993-1994, quando ainda não existiam manuais para os alunos. Mediante a análise que realizei ao Programa da disciplina, mesmo com a minha inexperiência docente, percebi que a sua sustentação era muito ténue. Com as limitações próprias do meu percurso no momento, tomei a iniciativa de apresentar algumas ideias e expressá-las num artigo que apelidei de *Técnicas Laboratoriais de Biologia: Um Deslumbramento Pedagógico*, publicado na revista *Brotéria Genética* (Bonito 1994). Foi o meu primeiro artigo. Nessa altura escrevi:

É verdade que as actividades laboratoriais envolvem a absorção e compreensão de factos, construção de princípios, teorias e leis. Mas, também é verdade que todas as práticas laboratoriais têm que estar teoricamente

² Recordemos, por exemplo, os «trabalhos práticos individuais» (Decreto 896 de 26 de Setembro de 1914, do Governo da República Portuguesa)

³ A minha experiência enquanto aluno do ensino não-superior foi, severamente, paradigmática. Em oito anos de escolaridade (entre o 2.º ano do Ensino Preparatório e o 12.º ano de escolaridade) frequentei estabelecimentos de ensino privados (Colégio Bartolomeu Dias, em Santa Iria de Azóia) e públicos (Escola Preparatória da Póvoa de Santa Iria e Escola Secundária de Vitorino Nemésio de Lisboa) sem que neles existissem laboratórios ou estivessem em uso. Foram oito anos de aprendizagens de ciência sem haver contacto, ainda que aproximado, com a resolução de problemas em espaço laboratorial. E, apesar disso, o sistema educativo não impedia que não se obtivessem boas classificações na avaliação das aprendizagens meramente teóricas.

fundamentadas. Uma teoria é condição sine qua non de uma prática. (p. 100)

Contestei que a disciplina de Ciências da Terra e da Vida (CTV), existindo, não fosse o suporte teórico das práticas das TLB: “as CTV deveriam ser um suporte teórico efectivo e eficaz a uma prática e prática-teórica desses saberes. Uns saberes que se operacionalizam em saberes-fazer nas TLB” (p. 100). O elenco temático do Programa da disciplina de TLB iniciava com “Trabalho laboratorial em Biologia: laboratório de Biologia”. Escrevi, na altura, que “não perde a validade, mas torna-se insuficiente”. Sugeri, então, influenciado pelos ensinamentos do Professor Vítor Trindade (na disciplina de Didáctica da Biologia e Geologia) e do Professor Leite Videira (na disciplina de História da Ciência), que o Programa deveria fazer o seguinte desenvolvimento curricular⁴: 1. – O que é ciência?; 1.1. – De ontem até hoje; 1.2. – As leis da Natureza; 1.3. – Previsibilidade: Mister e possibilidade; 1.4. – O Mundo exterior; 1.5. – Um Universo à medida do homem. Seguia-se a proposta de um segundo capítulo dedicado à “Biologia como ciência”.

Mais recentemente, a nova Reforma do ensino secundário português, que veio incorporar alguns dos conhecimentos produzidos pela didáctica das ciências, considera que não se pode separar, por um lado, o corpo doutrinal e, por outro, a praxis. Ainda assim, regulamentou-se acerca da obrigatoriedade de se realizarem aulas práticas semanais no conjunto das demais aulas.

A estas inquietudes e tentativas de avanços e recuos nas formas de programar o ensino das ciências de forma mais eficaz coloca-se, no meu ponto de vista, a seguinte formulação: para se ser fiel à própria natureza da ciência haverá outra forma de ensinar e aprender que não seja seguindo a própria forma como o conhecimento científico se constrói? Estou em crer que não. Em consequência, parece-me exagerado e potencialmente perigoso insistir no “papel da experimentação”, quando nos deveríamos preocupar com a aprendizagem da ciência, vista no seu conjunto que, obviamente, incluirá a experimentação, mas prioritariamente a reflexão, igualmente a observação, a formulação de problema(s), o confronto entre o que se sabe (quadro conceptual) e o fenómeno ou facto procurando-se uma explicação (hipóteses).

Em verdade, uma metodologia de base que desenvolva no aluno as grandes potencialidades que existem na adopção, face a determinados problemas da nossa vida, formas de pensamento e de acção que perscrutam a solução ou dela se aproximam porque, inclusivamente, muitos problemas não necessitam de uma metodologia científica para serem resolvidos e outros há que têm solução sem recurso à experimentação, torna-se muito adequada por produzir resultados eficazes e desejados. O perigo, como anteriormente disse, é querer elevar a experimentação a um estatuto tão elevado, a par da própria ciência, como se autónoma fosse.

Num processo de aprendizagem da ciência a experimentação surgirá, em determinada altura e quando reclamada, como absolutamente necessária, porque não haveria outra forma adequada para realizar esse processo (as aprendizagens não seriam as mesmas). São geralmente as teorias que geram as práticas e não o contrário. Foi com base nestes pressupostos, que dei o título “Perspectivas actuais sobre o ensino das ciências: clarificação de caminhos”.

NOTAS ACERCA DO ENSINO DAS CIÊNCIAS

2.1. Abordagem Construtivista

As orientações da educação científica actual são, claramente, de natureza construtivista, diferenciando-se da anterior visão, que era centrada numa sistemática instrução baseada em *curricula* de “grandes ideias”, por quatro aspectos particulares (Fig. 1).

O termo construtivismo é de natureza ampla e apresenta relações de dependência com a filosofia, o ensino e a aprendizagem, embora assente basicamente no contributo do aluno para o significado e para a aprendizagem por meio da actividade individual (Steffe e Gale 1995, Gibbs 1996). De acordo com a perspectiva construtivista da aprendizagem, o aluno chega ao significado seleccionando informação e construindo o que sabe (Carretero 1993). No sentido estrito, a concepção construtivista não deve ser considerada como uma teoria, mas antes como uma perspectiva explicativa que parte da consideração social e socializadora da educação escolar, integrando contributos diversos, cujo denominador comum forma um acordo à volta dos princípios construtivistas.

Solé e Coll (1997) consideraram que a concep-

⁴ É preciso ver que só mais recentemente se tem falado de um professor gestor do currículo, desenvolvendo-o e construindo-o quando é conveniente (veja-se, por exemplo, Trindade 2003).

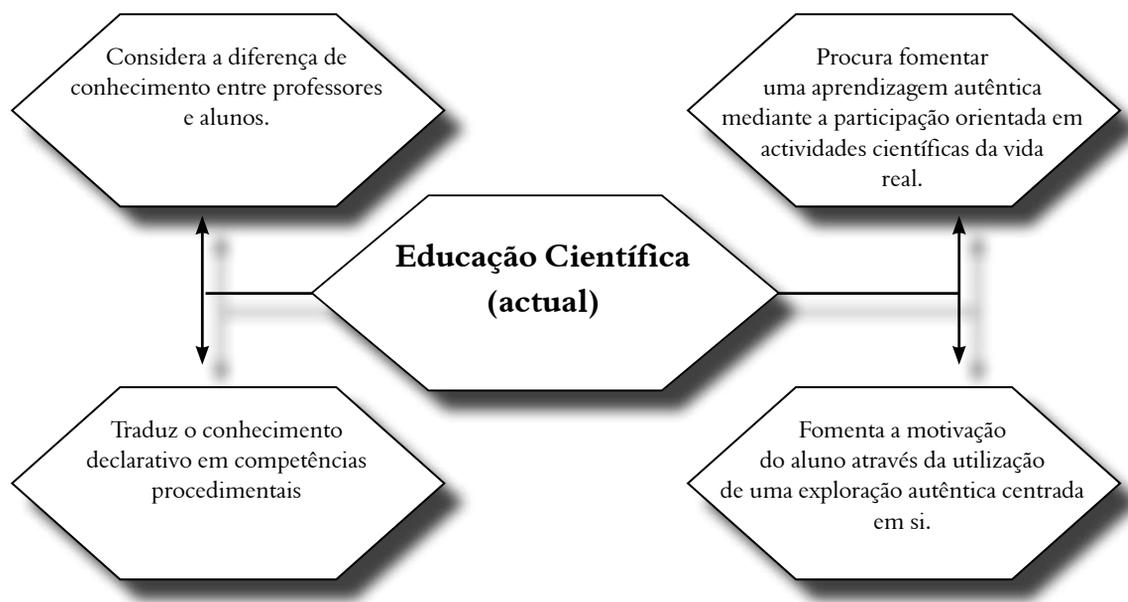


Figura 1 - Principais características da educação científica actual Baseado em Collins et al. (1989)

ção construtivista é “um conjunto articulado de princípios [fundamentados em numerosos estudos empíricos] a partir dos quais é possível diagnosticar, estabelecer juízos e tomar decisões fundamentadas sobre o ensino” (p. 8). Estes princípios não determinam a acção, nem conseguem antever uma previsão segura e estável do que vai acontecer em situações específicas de ensino e de aprendizagem. O processo de ensino e de aprendizagem é, como se disse, tão complexo, que há uma multiplicidade de variáveis que intervêm. A multicausalidade dos fenómenos faz com que seja muito difícil a compreensão em termos de antecedente-consequente (princípio da multicausalidade).

A investigação no campo do construtivismo carece ainda do estabelecimento de uma perspectiva paradigmática⁵. De qualquer forma, a maior parte dos construtivistas tem uma visão que coincide com as dimensões do construtivismo mais influentes na psicologia e na educação, na concepção defendida por Solé e Coll (1997). Trata-se de uma concepção de construtivismo dialéctico (Moshman 1982). Não estou seguro, contudo, se esta concepção é aquela que melhor contribui para localizar os elementos que apresentam maiores probabilidades de criar uma “aula reflexiva”, na qual os professores e os alunos interagem de forma a estimular a construção do co-

nhecimento e o desenvolvimento metacognitivo.

Valadares e Graça (1998) sintetizaram, em uma perspectiva psicológica, o construtivismo:

- (a) Opõe-se às teorias comportamentalistas que defendem ser o intelecto uma caixa negra que responde ao mesmo estímulo com a mesma resposta e que é apenas cognoscível através das respostas e estímulos;
- (b) Tem subjacente uma psicologia cognitivista adequada ao Homem;
- (c) Rejeita o objectivismo das percepções humanas que considera as mesmas dependentes exclusivamente dos objectos exteriores;
- (d) Rejeita o subjectivismo que considera as percepções totalmente subjectivas porque completamente idiossincrásicas;
- (e) Considera a nossa percepção dum fenómeno como um acto complexo em que as ideias existentes na estrutura cognitiva influenciam o produto dessa percepção, pelo que este produto não é um espelho do fenómeno;
- (f) Rejeita a ideia de que existe uma evolução intelectual por estádios independentes da aprendizagem e de aspectos sociais;
- (g) Defende que a construção do conhecimento científico por cada ser humano é influenciada por factores endógenos complexos, que o pensamento, sentimentos, emoções e paixões por um lado, e a acção por outro, comandam o modo como se dá a apreensão do conhecimento individual. (p. 17)

⁵ Há autores, por exemplo, que consideram que as estruturas mentais reflectem as realidades externas, enquanto outros opinam que não vêem uma realidade independente externa do mundo mental da pessoa (Steffe e Gale op. cit.).

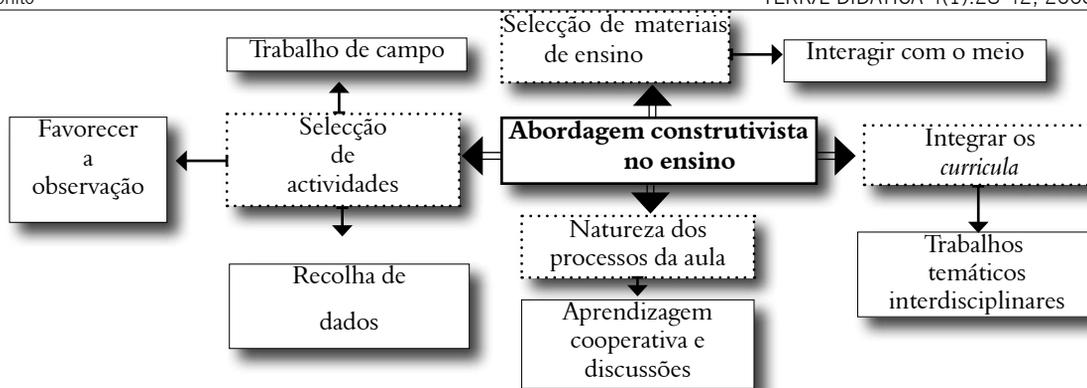


Figura 2 - Maneiras de realizar uma abordagem construtivista na aula: exemplos de actividades (Bonito 2005)

Muitos dos conceitos chave da psicologia cognitiva⁶ reflectem o pensamento construtivista⁷. O objectivo do ensino, a partir desta perspectiva, é potenciar a “formação do conhecimento e dos processos metacognitivos para julgar, organizar e adquirir informação nova” (p. 277). A concepção construtivista do ensino e da aprendizagem parte da constatação de que a escola torna acessível aos alunos aspectos da cultura humana (cognitivos, psico-motores, sócio-afectivos), que são fundamentais para o seu pleno desenvolvimento enquanto pessoa. Considera, ainda, o carácter activo da aprendizagem, aceite mais como uma consequência de um esforço pessoal, de uma construção individual, no qual intervêm outros sujeitos para além daquele que aprende. Por esta razão, este marco explicativo não opõe o acesso à cultura aos desenvolvimentos individual e social. Entende, pelo contrário, que essas associações são indissolúveis. Constrói-se,

mas ensina-se e aprende-se a construir.

Uma abordagem construtivista pode, nestes termos, ser sistematizada da forma como se representa na figura 2. Numa aula baseada nesta concepção, o professor deve ensinar os seus alunos a planificar e a dirigir a sua própria aprendizagem ao máximo, assumindo um papel de facilitador em vez de ser considerado a fonte primária de informação. Anima os alunos a serem activos na sua aprendizagem.

Uma compreensão diferenciada da perspectiva construtivista permite identificar a sua importância para o ensino, ainda que alguns autores considerem que esta é uma visão integradora no âmbito filosófico, psicológico e educativo. Moshman (1982) distinguiu claramente três tipos de construtivismo: construtivismo endógeno, construtivismo exógeno, e construtivismo dialéctico, cujas principais características se descrevem no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de construtivismo e suas características (baseado em Moshman 1982)

| CONSTRUTIVISMO ENDÓGENO | CONSTRUTIVISMO DIALÉCTICO | CONSTRUTIVISMO EXÓGENO |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Coordenação de acções cognitivas. • Metáfora daquele que conhece como organismo biológico. • Os conceitos não são espelhos do mundo exterior. • O conhecimento existe em um nível mais abstracto e desenvolve-se por meio da actividade cognitiva. • O conhecimento estruturado não reflecte o meio social. • As estruturas cognitivas geram-se com base em outras anteriores. | <ul style="list-style-type: none"> • A fonte do conhecimento situa-se na interacção entre o aluno e o seu meio. • O conhecimento é uma «síntese construída» que procede das contradições que as pessoas experimentam durante a interacção com o meio. • Relaciona-se com o contextualismo que defende que o pensamento e a experiência estão inextricavelmente ligados ao contexto em que se produzem. | <ul style="list-style-type: none"> • A formação do conhecimento é uma reconstrução das estruturas que existem na realidade externa. • As estruturas mentais reflectem a organização do mundo. • Visão do mundo como Mecanismo, daquele que conhece como máquina. • Profunda influência externa na construção do conhecimento. • Um conhecimento é adequado (ou “verdadeiro”) na medida que emita com exactidão as estruturas externas que representa num plano ideal. |

6 Por exemplo, teoria dos esquemas, níveis de processamento.

7 Actualmente assiste-se ao início de uma onda de contestação sobre o construtivismo. Anguita (2001) procurou demonstrar, num ensaio, a debilitada visão construtivista da ciência, apresentando alguns exemplos do desconcerto que a adopção destas ideias produz nos professores de ciências. Izquierdo (2001) por seu lado, defendeu uma concepção sócio-construtivista. López (2002) continuou com o debate polémico encetado por Anguita (2001).

Cada um destes tipos de construtivismo traduz uma visão do mundo que se considera irreconciliáveis (Quadro 2). Ainda assim, Moshman (1982) opina que cada uma delas pode ser aplicada a determinadas condições da construção do conhecimento, ou seja, cada uma constitui uma metáfora produtiva para compreender as diferentes maneiras

das actividades históricas e culturais específicas da comunidade. Rogoff (1990) considera que o desenvolvimento cognitivo, seguindo o exemplo de Vygotsky, ocorre quando um adulto orienta uma criança nas actividades sociais que amplificam a compreensão das ferramentas da cultura predominante e da competência para usá-las. As crianças

podem, desta forma, ser “aprendizes do pensamento” (Rogoff op. cit.).

Numa aprendizagem deste tipo, segundo considera Barbara Rogoff (1990), o desenvolvimento é baseado na “internalização por

Quadro 2 - Visão do mundo representada por cada tipo de construtivismo

| Visão do mundo / Tipo de construtivismo | Mecanicista | Contextualista | Organicista |
|---|-------------|----------------|-------------|
| Construtivismo exógeno | ✓ | | |
| Construtivismo dialéctico | | ✓ | |
| Construtivismo endógeno | | | ✓ |

de construir o conhecimento que possui cada pessoa. Como disse no início, no meu ponto de vista, a diversidade corresponde a uma riqueza desde que exista uma visão analítica ecléctica.

O construtivismo dialéctico tem assumido cada vez mais importância na psicologia cognitiva actual, embora Pressley et al. (1992) considerem o construtivismo exógeno e o construtivismo endógeno como casos especiais do construtivismo dialéctico.

O papel do aluno na construção e na transformação do conhecimento é assumido de forma distinta por alguns autores. Bruner (1989) destaca que existem três vultos do desenvolvimento cognitivo: Freud, Piaget e Vygotsky. A estes autores acrescentaria Barbara Rogoff, com o seu modelo de aprendizagens do pensamento, e Schön, autor do modelo do profissional reflexivo. De forma sumária, passarei em revista o modelo de Rogoff, precisamente por ser o menos conhecido no contexto português.

2.2. Perspectiva Rogoffiana

As primeiras investigações e teorias cognitivas consideravam, apenas, a memória e o pensamento individual. Com a influência da teoria de Vygotsky, reconhece-se actualmente o papel da influência social na cognição. Trata-se de uma perspectiva sócio-cognitiva, estreitamente relacionada com o construtivismo dialéctico, onde se acentuam o modo como se desenvolvem as competências, as actividades e o pensamento humano no contexto

parte do aluno dos processos cognitivos partilhados, apropriando-se do que se desenvolve de modo cooperativo para ampliar o conhecimento e as competências existentes” (p. 141). Nesta perspectiva, o desenvolvimento cognitivo é de natureza inseparavelmente social. Solicita um compromisso recíproco com duas ou mais pessoas de maior competência. E nesta concepção, as demais crianças formam um importante fundo de “companheiros de competências” (p. 142). Estando disponíveis em igual, e com muita actividade, este companheirismo de aprendizagem permeia “motivação, imaginação e oportunidades de elaboração criativa das actividades da comunidade” (p. IX). De qualquer modo, os adultos (pais, familiares, professores) permanecem os companheiros das crianças mais fiáveis e mais importantes.

O papel dos adultos está, assim, dedicado à participação orientada das crianças. Por intermédio desse processo, os esforços infantis estruturam-se, contextualizados socialmente, e transfere-se para as crianças, de forma gradual, a responsabilidade da resolução de problemas. Para além disso, os adultos intervêm na comunicação interpessoal e no “estabelecimento de estádios” (Rogoff 1990) para construir vínculos entre aquilo que os alunos sabem e a nova informação que surge. É, portanto, uma resolução de problemas orientada em contexto de interacção social.

Este processo cognitivo tem de se dirigir a algo de concreto, a fim de se atingir uma determinada meta. Só dessa forma os participantes desenvolvem um sentimento mútuo de propósito, sentindo-se intrinsecamente motivados para conseguir melhor

compreender o mundo. Esta participação orientada pode ser, também, implícita e, portanto, não formal, ou seja, um conjunto de orientações que os adultos dão sem que estejam a pensar, com efeito, que estão a ensinar.

Neste encadeamento de ideias, a escola é um recurso excepcional para o desenvolvimento cognitivo. É, sobretudo, para adquirir as ferramentas mais formais da linguagem e do pensamento, permitindo oportunidades estruturadas de participação orientada por adultos e a apropriação de conhecimento e de estratégias de resolução de problemas dos adultos. Em consequência, os professores devem aprender a perscrutar a melhor forma de ajudar os alunos a adquirir as ferramentas mentais eficazes.

2.3. Ciência do Professor e Ciência do Aluno

A investigação sobre o conhecimento do aluno e do professor é, actualmente, um dos aspectos que tem sido bem investigado no campo da formação de professores. Alguns estudos realizados no domínio da educação em física têm contribuído com alguns dados interessantes distintivos entre as formas de resolver problemas do aluno e as maneiras utilizadas por um especialista.

Ericsson (1996) demonstrou cientificamente algo que já se aceitava intuitivamente: os professores possuem muito mais informação do que os alunos. Para além disso, provou que resolvem os problemas com maior rapidez, o que parece indicar que são mais eficazes do que os alunos em procurar um espaço de solução concreto. Os estudos acerca do tempo de resolução indicam que a memória dos professores está agrupada⁸. Esta presença de “vagas de recordações” dos professores indica a presença de esquemas que estão relacionados de maneira significativa, e que se activam como “pacotes” perante as exigências de um problema⁹.

Outro aspecto que difere entre os professores e os alunos é a designada “análise qualitativa” ou “intuição física”¹⁰. Os autores descrevem este conceito

por representações do problema, muito elaboradas, que se incluem na construção de um esboço ou de outra versão física do mesmo. Essas mesmas representações constituem-se como o primeiro passo para resolver o problema, ainda que sejam virtuais, verbais ou ambas as coisas. São instrumentos que permitem localizar ambiguidades na descrição do problema e localizar ou especificar aspectos que se devem deduzir ou inferir. Num momento posterior, estas representações acabam por produzir equações de solução.

A selecção de estratégias para resolver problemas, segundo Anzai (1991), é um dos aspectos que é diferente entre estes dois grupos. Os professores usam sistematicamente uma estratégia do tipo “trabalho em direcção à frente” (e.g., meios-fins). Uma vez identificadas as variáveis do problema, geram-se e resolvem-se equações que empregam a informação existente. Por seu turno, os alunos preferem uma abordagem de “trabalho em direcção a atrás”, ou seja, começam o processo de solução com uma equação que tem uma incógnita do problema (o produto final desejado). Quando uma variável não é dada, os alunos “trabalham em direcção a trás” a partir da referida equação, procurando outra que lhes proporcione a variável que precisam. Os dados recolhidos nestas investigações permitem supor que o professor tem uma rede de informação abundante, organizada em esquemas que requerem conceitos-chave do enunciado do problema e da sua própria base de conhecimentos, para demonstrar procedimentos de resolução que se realizam em momento mais avançado.

Em síntese, notam-se diferenças na estrutura e nos conteúdos da informação que os alunos e os professores usam na resolução de problemas. Estes últimos, em maior medida que os primeiros, criam inferências necessárias para a resolução adequada com base no enunciado do problema. A nível da representação dos problemas, os professores organizam o seu conhecimento de maneira esquemática à volta de princípios científicos básicos, que frequentemente se podem retirar, implicitamente, a partir do enunciado do problema (Anzai op. cit.). Os alunos organizam os seus conhecimentos à volta da superfície estrutural da formulação explícita do problema. A activação dos esquemas relacionados com princípios fundamentais conduz a que os professores utilizem o seu conhecimento procedimental armazenado para criar formas de solucionar o problema, que são submetidas a prova relativamente aos requisitos do enunciado do problema.

8 Ericsson (1996) verificou, por exemplo, que os professores recordam um conjunto de equações relacionadas com um determinado princípio de física como uma única configuração ou como se fosse um «pacote de equações». Fazem uma pausa, e logo de seguida recordam outro «pacote» relacionado com outro princípio relevante. Os alunos não deram provas de possuir esse padrão de agrupamento de dados na memória.

9 Estes dados coincidem com a exposição sobre a resolução de problemas de matemática apresentada por Bruning et al. (2002).

10 Trata-se de expressões com o mesmo significado, embora a primeira fosse usada por Larkin (1977) num relatório técnico de um grupo da educação em ciência e em matemática, e a segunda por Simon e Simon (1978).

No que diz respeito à forma de compreender a ciência, White (1993) e Linn, Songer e Eylon (1996) opinam que as diferenças são profundas. Kuhn (1989) e os seus colaboradores sustentam que, entre as crianças, os adultos leigos e os cientistas, são as primeiras que têm mais dificuldades com as ciências. Segundo o autor, este grupo carece de conhecimento específico do domínio e das estratégias que os adultos especialistas empregam e não compreende adequadamente a estrutura e os usos científicos de uma teoria. Kuhn (op. cit.) verificou que grande parte das crianças e muitos dos adultos leigos¹¹ não eram capazes de distinguir os aspectos formal e empírico de uma teoria, ajustando os dados experimentais para se adequarem com a teoria, ou modificando a formulação da teoria para se ajustar com os dados, mesmo quando eram ambíguos ou pouco fidedignos. Estas estratégias de ajuste não podem ser aceites uma vez que impedem que as crianças organizem os dados com a teoria. Os adultos que receberam educação formal, e em particular os cientistas, demonstraram uma grande competência de coordenação.

No trabalho *Children and Adults as Intuitive Scientists*, Kuhn (1989) individualizou três competências de pensamento científico que considerou essenciais:

- Possuir uma consciência explícita daquilo que a teoria assevera;
- Discriminar os dados que confirma a teoria daqueles que a contestam;
- Fundamentar as razões por que uns dados corroboram uma teoria e não sustentam outra.

Procurando compreender a natureza do conhecimento científico, Carey e Smith (1993) e Linn, Songer e Eylon (1996) concluíram que muitos dos adultos e das crianças não conseguem realizar as competências assinaladas por Kuhn (1989), sendo incapazes de compreender, efectivamente, as teorias com que trabalham. Num trabalho posterior, Kuhn (1991) considerou que existem abundantes provas de que as crianças, e muitos adultos, não conseguem distinguir umas classes de dados de outras. Por outro lado, Kitchener e King (1981, cit. em Bruning et al. op. cit) referiram, a este propósito, que muitos alunos universitários eram incapazes de apresentar uma justificação detalhada da razão explicativa de uns dados confirmarem um ponto de vista e não outro. Com base nestas evidências, Kuhn et al. (1992) propuseram a adopção pelos

professores de um conjunto de três estratégias de optimização da argumentação científica, que, adicionadas à sugestão de Carey e Smith (1993), constituem competência tetralógica de raciocínio científico (Fig. 3).

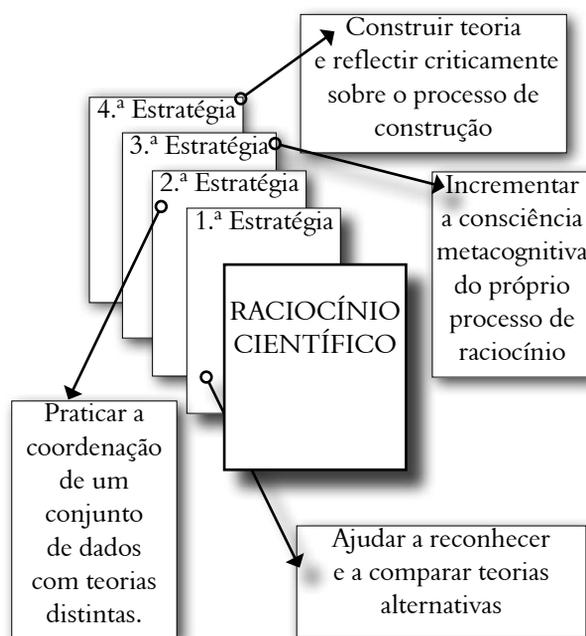


Figura 3 - Estratégias quádruplas para desenvolver o raciocínio científico (baseado em Kuhn et al. 1992 e Carey e Smith 1993)

2.4. - O Octópode Pedagógico no Ensino das Ciências

A análise e as considerações que fiz permitem-me, no momento, sintetizar os principais contributos da psicologia cognitiva para o ensino das ciências, num modelo de estratégias que deve ser envolvente, e que designei de “octópode pedagógico¹²” (Fig. 4).

A **resolução de problemas** começou por interessar psicólogos e educadores no início do século XX. O modelo encontrado assenta em dois pressupostos principais: o uso de um procedimento geral de resolução de problemas, e o elevado grau de supervisão metacognitiva por parte de quem vai resolver o problema. Entre os vários modelos de resolução de problemas propostos, numa análise comparativa é possível identificar cinco estádios comuns às várias propostas (Fig. 5).

¹¹ Por exemplo, adultos jovens que não foram à universidade.

¹² É aqui usado o termo «pedagogia», com referência aos alunos do ensino não-superior. Na formação de professores, do meu ponto de vista deve ser usada a designação de “antropagogia”, vocábulo introduzido por Patrício na década de 1980.

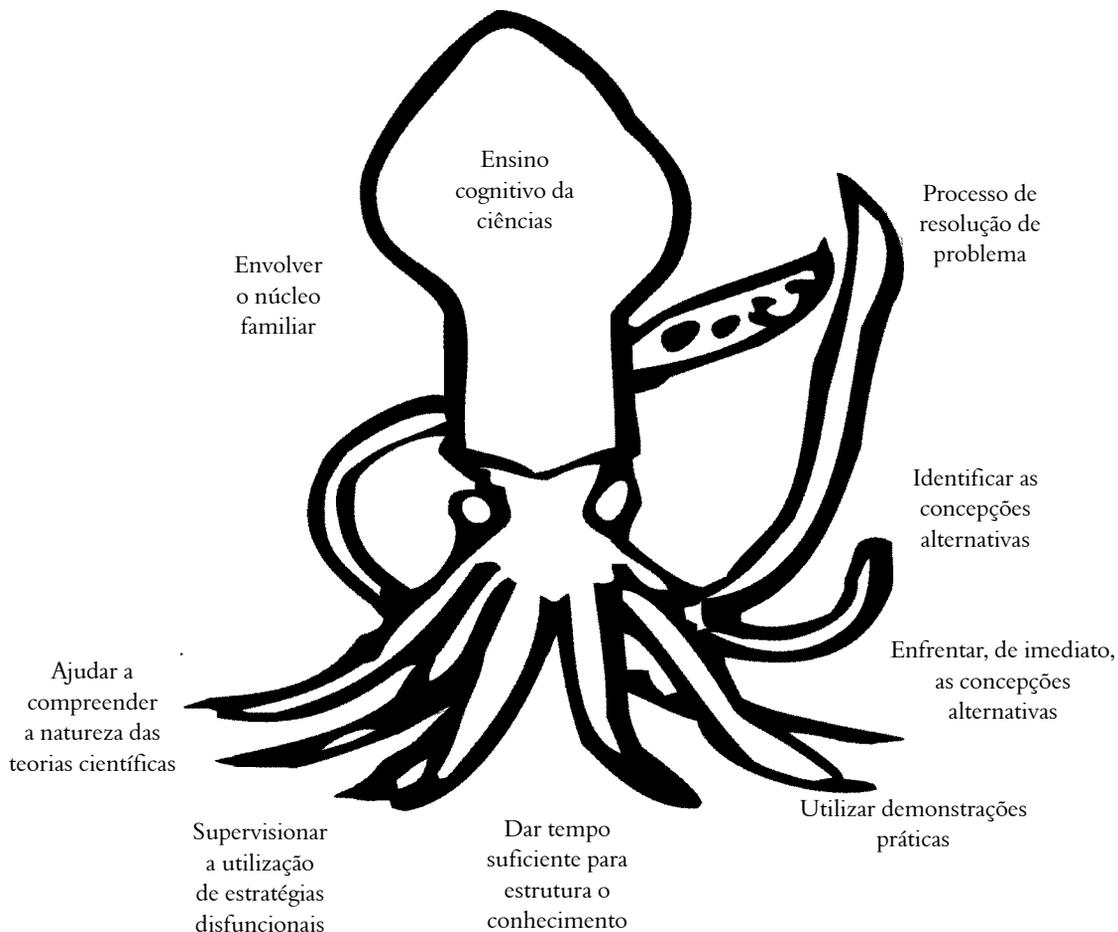


Figura 4 - Octópode (polvo) cognitivo pedagógico para o ensino das ciências (Bonito 2005)

Este modelo pressupõe que se consegue chegar melhor à solução de um problema quando se compreende melhor o processo básico de o resolver. Alguns estudos têm procurado apurar o valor de ensinar aos alunos um método geral

de resolver problemas, parecendo indicar que o ensino da resolução de problemas tem um efeito benéfico nos alunos mais jovens. Algumas investigações verificaram que os resultados tornam-se mais eficazes quando se associa à resolução de problemas outras estratégias, como por exemplo a resposta a perguntas (King 1991) ou a metacognição (Martínez-Torregrosa 1987, Garret 1988, Delclos e Harrington 1991, López-Rupérez 1991, Furió, Iturbe e Reys 1994, Neto 1995, 1998, Freire 2000) e que esta metodologia de trabalho pode ter bons resultados como estratégia de mudança conceptual (Varela e Martínez 1997, Santos 2001), de organização do conhecimento (López-Rupérez 1991) e de investigação (Gil 1990).

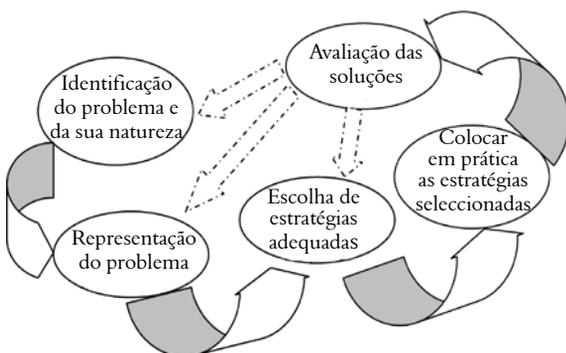


Figura 5 - Estádios de um processo de resolução de problemas (Baseado em Gick 1986). A inclusão do tracejado representa um esforço metacognitivo que, após resolver o problema, poderá determinar a reformulação do problema, a sua replanificação ou a realização de novas experiências¹³

As **concepções alternativas** correspondem ao conjunto de ideias coordenadas e de imagens coerentes explicativas que os alunos usam para raciocinar

13 Neste campo, por exemplo, Jong concebeu um conjunto de experiências científicas escolares, que designou de “experimentos que conduzem a problemas” (p. 306).

quando são confrontados com situações-problema, e que constituem um elemento motor na construção do conhecimento (Giordan e Vecchi 1988).

A melhor forma de eliminar as concepções alternativas é torná-las claras, e enfrentá-las diretamente (Sequeira e Duarte 1993, Pintrich et al. 1993). O ensino deve basear-se na experiência dentro do contexto da aula e proporcionar incentivos de motivação à mudança. Ensinar os factos científicos básicos, sem preparação alguma, esperando a mudança conceptual é insuficiente e não atinge os resultados pretendidos. Pintrich et al. (1993) produziram uma extensa análise dos diversos estudos sobre mudança conceptual, identificando condi-

Quadro 3 - Condições básicas para que ocorra mudança conceptual (baseado em Pintrich et al. 1993)

| CONDIÇÃO | CARACTERÍSTICA |
|------------------|--|
| Insatisfação | O aluno deve estar descontente com as concepções que tem acerca do mundo natural, uma vez que não conseguem explicar adequadamente os fenómenos. Se o aluno, e o professor, não sentirem suficientes razões para abandonar as crenças e concepções alternativas, com pouca probabilidade se dará a mudança conceptual. |
| Inteligibilidade | As concepções novas devem ser compreensíveis e de fácil entendimento. |
| Verossimilhança | A plausibilidade, em que não repugna acreditar, incrementa a possibilidade das novas concepções se relacionarem de forma significativa com o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aluno, e que as utilizem na resolução de problemas científicos. |
| Frutificação | Os novos marcos devem parecer frutíferos, com utilidade para facilitar a posterior investigação. |

ções básicas comuns entre eles (Quadro 3).

Num trabalho de Nussbaum e Novick (1982) é proposta uma abordagem estratégica triangular para intervir na modificação das concepções alternativas (Fig. 6). Num primeiro momento, o professor deve proporcionar oportunidades para que o aluno explicita as suas próprias ideias, de forma clara e concisa, dando-se relevo ao tipo de linguagem que não deve ser ignorada (Sequeira e Freitas 1987). Isso pode ser conseguido mediante a apresentação de actividades que conduzem o aluno a explicar as suas certezas e o seu pensamento, colocando a descoberto as suas ideias acerca do fenómeno (White 1993, Demastes et al. 1996). O aluno sentir-se-á perturbado, provocado e desafiado a invocar as suas ideias correntes (Santos 1991). O professor não deve emitir juízos acerca da adequação das respostas dos alunos, incitando a que eles próprios as comparem. Este intercâmbio de pontos de vista entre os alunos possui interesse intrínseco

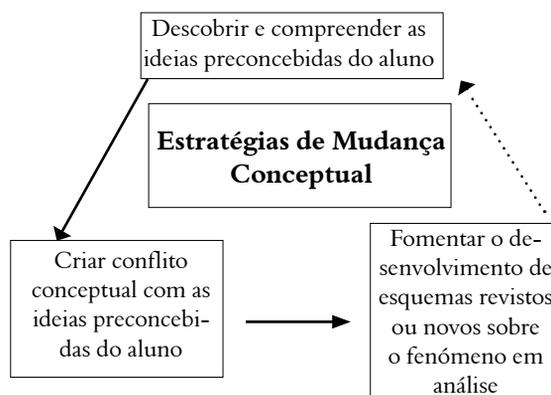


Figura 6 - Triangulação de estratégias para a mudança conceptual (baseado em Nussbaum e Novick 1982). O tracejado representa a nova avaliação das concepções do aluno que é necessário realizar para comprovar, temporalmente, a mudança conceptual

e serve, igualmente, para clarificar o que cada um, em particular, pensa (Bruning et al. op. cit). Santos (1991) sugere a utilização, por exemplo, de associação de palavras ou de expressões, a definição de palavras, a evocação de situações (reais e imaginárias), a interpretação de desenhos, a manipulação de dispositivos, o recurso a percursos experimentais, a composição livre, o desenho livre, entre outros aspectos possíveis de considerar.

Neste campo, as actividades práticas, incluindo experiências diversas e demonstrações, são muito



Figura 7- Modelo alternativo para o desenvolvimento de actividades práticas, encarado com base numa abordagem a partir da nova filosofia da ciência

úteis para gerar conflito conceptual com as ideias preconcebidas dos alunos, podendo partir-se das seguintes reformulações epistemológicas (Fig. 7).

Este modelo impele-nos para a adopção, infalivelmente em todo o desenvolvimento das actividades práticas, de um esqueleto que lhes dá suporte, estrutura, locomoção a todo o tipo de tarefas e raciocínios. Permite que os alunos examinem as suas ideias explicativas de fenómenos naturais, baseados na sua experiência sensorial, impelindo-os a adoptar uma visão mais científica. Consequentemente, as actividades práticas geram, também,

mais oportunidades para o aluno se interrogar de maneira metacognitiva sobre as estratégias que adopta e conclusões que elabora. Há, pois, lugar a todo o tipo de actividades práticas (e.g. aquisição e desenvolvimento de técnicas, demonstrações, verificações, resolução de problemas dirigida e autónoma etc.) consoante os objectivos que pretendemos para a aprendizagem e as competências que queremos promover nos alunos. Tomemos como base o esquema que se segue acerca da definição da metodologia científica (Fig. 8), para o qual se deve materializar um modelo de ciência que reconheça

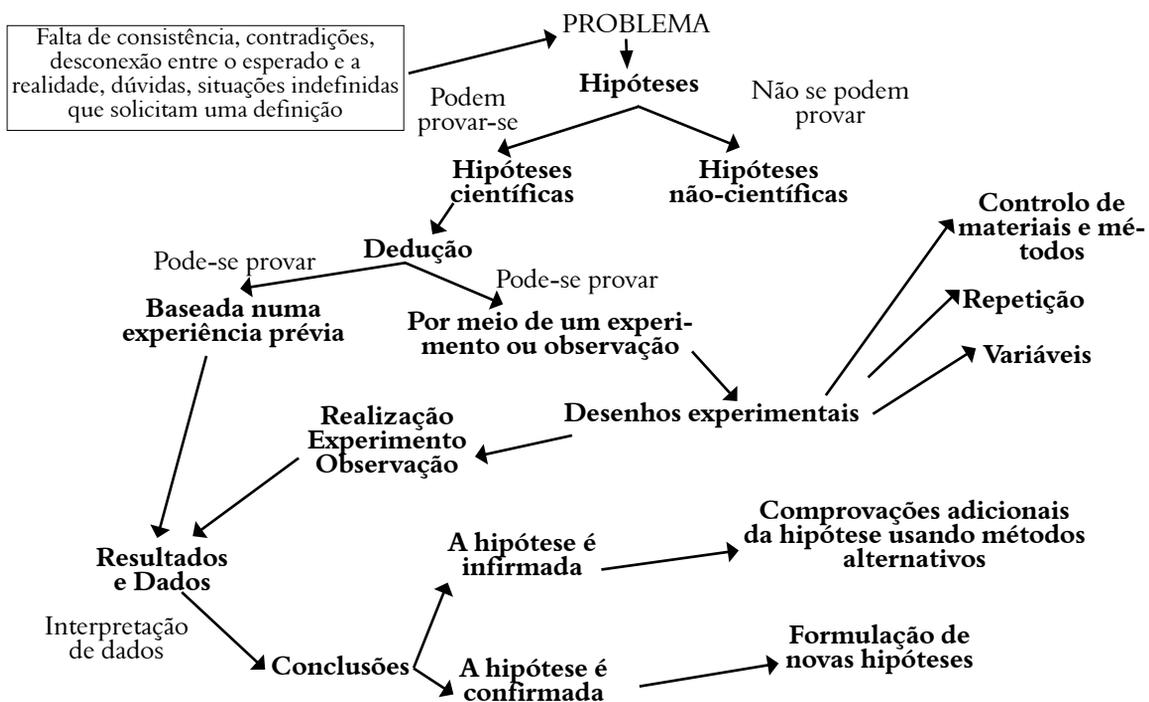


Figura 8- Metodologia científica (Segundo Friedler e Tamir 1990, cit. em Izquierdo 2000)

a falibilidade e a dependência teórica da observação e da experimentação, e que revele como se constroem e transmitem os conhecimentos no interior da comunidade científica. Este modelo deve considerar que a ciência é obra do humano e, portanto, influenciada por considerações socioeconómicas, culturais, políticas, éticas e morais¹⁴, e que existem teorias realistas, destinadas a explicar fenómenos, e teorias instrumentalistas, cujo objectivo é fazer previsões de fenómenos naturais e realizar um controlo das suas ocorrências.

Pela análise deste organigrama, verifica-se que existe um primado do pensamento sobre a praxis, e assim deve ser, no meu ponto de vista, na aula de ciência. Bachelard (1977) escreveu que:

Antes de mais, é preciso saber pôr os problemas. Na vida científica, diga-se o que se disser, os problemas não se põem por si mesmos. É precisamente esse sentido do problema que assinala o verdadeiro espírito científico. Para o espírito científico, todo o conhecimento é resposta a uma questão. Se não houver questão, não pode haver conhecimento científico. Nada surge por si. Nada é dado. Tudo é construído. (p. 14)

“Nada é dado, tudo é construído”. Considero que é desta forma que as nossas aulas de ciências devem iniciar-se. Mediante a apresentação aos alunos de explicações com falta de consistência, de contradições, de desconexão entre o esperado e a realidade, de dúvidas e de situações indefinidas que solicitem uma definição mais clara, o professor conduzi-los para o enunciado de um problema – “dissonância cognitiva” (Pizzini et al. 1991) – que é essencial para activar os mecanismos motivacionais com vista à resolução do problema. “Todo o conhecimento é resposta a uma questão. Se não houver questão, não pode haver conhecimento científico”.

A mudança conceptual é um processo lento e desenvolve-se a longo prazo. O aluno necessita de tempo suficiente para reestruturar os seus conheci-

mentos, tomando consciência, de forma estratégica e reflexiva, de que os conceitos que tem, explicativos dos fenómenos naturais, não apresentam coerência científica.

Independentemente da natureza e da estrutura da concepção errada que o aluno tem consigo, não existe actualmente qualquer dúvida de que os alunos trazem consigo abundante informação inexacta acerca da explicação dos fenómenos naturais. Os professores devem, naturalmente, esperar que os alunos apresentem concepções alternativas e, por isso, devem pesquisar-las.

As explicações e os desenhos produzidos pelos alunos podem ajudar a deslocamentos discursivos para visualizar o que é abstracto e constituir-se como alternativa à concepção que o(s) aluno(s) apresenta(m). Será preciso resistir à tentação, mesmo quando se é induzido, de apresentar aos alunos a concepção correcta. A discussão em díades é muito apropriada para, por si mesma, modificar concepções dos alunos (Bruning et al. 2002). Podem formar-se díades de alunos com diferentes pontos de vista e pedir-lhes que escolham o “melhor desenho” e que a justifiquem. No final de um período de tempo adequado, o professor deve consciencializar os alunos da necessidade de uma prova empírica que determine as qualidades das alternativas. O critério da escolha da prova deve ser aquele que, mediante um exame detalhado, elimine todas as concepções alternativas e aceite a correcta. Num segundo momento, após escolha, análise e discussão da prova empírica, o professor deve proporcionar aos alunos apoio, para que com informação nova ou reelaborada eles possam reestruturar as suas ideias acerca da situação concreta. As repostas dos alunos, ainda que complexas, podem constituir-se alimento de estratégias metacognitivas, recorrendo a perguntas e a comentários, para levá-los até estruturas cognitivas mais complexas (estratégias dialécticas). Santos (1990) sustenta que são estas estratégias dialécticas que vão conduzir a uma síntese transformante. “Esta síntese é uma síntese a posteriori que, de forma recorrente, vai proporcionar a compreensão dos contrários que ela supera” (Santos op. cit. p. 123).

Um estudo realizado na década de 1980 (Roth 1985) evidenciou a importância de supervisionar a utilização de estratégias disfuncionais. Verificou-se que algumas das estratégias de aprendizagem que os alunos adquiriram geram conflitos com a aprendizagem de novas matérias científicas:

14 Num artigo de opinião, Luísa Gomes (2002) afirma que “basta substituir ‘uma equipa de cientistas americanos’ por uma ‘equipa de cientistas brasileiros’ e, obviamente que as conclusões do estudo perdem muito da sua pertinência”. A autora rebela-se contra os estereótipos superiores atribuídos aos cientistas de determinados países relativamente a outros como, por exemplo, na sua opinião, são a Bulgária, a Lapónia, o Brasil, Portugal. Sobre este aspecto cultural, a colonista ridiculariza a situação afirmando que, se a equipa de cientistas brasileiros fizesse declarações à revista Caras, a notícia seria dada com um destaque tipo turístico, o que não aconteceria se fossem cientistas americanos a fazê-las.

- *Excesso de confiança no conhecimento prévio*

Este tipo de estratégia gera associações do material novo com o conhecimento prévio que se constitui como um sério obstáculo à absoluta compreensão de um problema ou de uma tarefa. No caso em apreciação, os alunos que usaram esta estratégia descuraram a atenção dirigida sobre a informação do texto, julgando que já conheciam os conteúdos, o que, na prática, não veio a demonstrar-se.

- *Excesso de confiança no vocabulário do texto*

Nesta estratégia, isola-se uma, ou várias, palavra(s) ou expressão(ões) novas do texto, amiúde fora de contexto, e assume-se que o seu uso corresponde à compreensão do conceito. Neste sentido, os alunos que usam este tipo de estratégias consideram que, para responder a perguntas acerca de um texto, é suficiente recordar as palavras novas ou importantes, ou alguma frase sobre elas, completamente isoladas do contexto da sua própria experiência. É uma estratégia que conduz ao fracasso da aprendizagem conceptual.

- *Excesso de confiança na informação objectiva*

Muitos alunos têm uma visão epistemológica do mundo de senso comum, em vez de uma visão crítica. Assumem com frequência, tacitamente, que uma teoria é uma acumulação de factos baseados em dados inequívocos. Roth (1985) verificou que muitos alunos recordavam, com bastante precisão, informação factual e de outros fenómenos naturais, mas não distinguiam os aspectos fundamentais. Curiosamente, o autor verificou que estes alunos tinham boas classificações na avaliação das aprendizagens com professores que tinham uma concepção da ciência essencialmente orientada para o vocabulário.

- *Excesso de confiança nas concepções existentes*

Um número significativo de aluno confiava, integralmente, nas suas crenças e concepções acerca dos fenómenos naturais, como demonstram outros estudos no mesmo âmbito (Burbules e Linn 1991, Pintrich et al. 1993). Eram alunos muito motivados, que procuravam confirmar a correcção das suas concepções com o conhecimento que provinha do texto. Em algumas situações, havia informação que era desprezada ou distorcida uma vez que poderia, eventualmente, confrontar-se com as concepções dos alunos e colocá-las em causa.

- *Estratégia de mudança conceptual*

Os documentos escritos são considerados, para os alunos que utilizam este tipo de estratégia, como um instrumento para modificar os esquemas que

possuem. Roth (1985) verificou que ao conciliar as ideias antigas com o novo material apresentado, os alunos identificavam e aprendiam as principais ideias do texto, e eram capazes de afirmar quais eram os esquemas que contestavam as suas ideias prévias. O texto era considerado uma nova fonte de conhecimento. Estes alunos transpareciam uma humildade de pensamento, afirmando que o texto os confundia, estando dispostos a rever os seus antigos esquemas face à nova informação disponível.

A investigação tem verificado que ajudar o aluno a compreender a natureza das teorias científicas tem-se revelado uma estratégia decisiva na aprendizagem das ciências, em particular a distinção entre teoria e dados. A aprendizagem dos processos de indagação é particularmente útil e tem revelado resultados eficazes.

Por fim, mas não em último, implicar a família no processo de aprendizagem parece ser uma das estratégias mais eficazes na procura do rendimento académico. Alguns estudos Reynolds e Walberg (1991, 1992) têm evidenciado que o rendimento prévio em ciências está intimamente relacionado com o actual, indicador que vem sublinhar a função decisiva do conhecimento anterior e da prática distribuída na aprendizagem e na resolução de problemas científicos. Por outro lado, o tempo de ensino constitui um importante factor no rendimento da aprendizagem das ciências¹⁷. O rendimento prévio em ciências é facilitado pelo meio familiar, que desempenha neste contexto um importante papel¹⁸.

Referências bibliográficas

- Aido A., Ponte M., Martins M., Bastos M., Pereira M., Leitão M., Carvalho R. 1985. *Física para o 10.º ano de Escolaridade/Curso Complementar*, 11.ª ed., Lisboa: Livraria Sá da Costa Ed.
- Anguita F. 2001. Contra el Constructivismo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9:235-238.
- Anzai Y. 1991. Learning and use of Representations for Physics Expertise. In: K. A. Anders e J. Smith eds. *Toward a General Theory of Expertise*. New York: Cambridge Univ. Press. p. 64-92.

17 Algumas hipóteses explicativas podem ser adiantadas: (a) os alunos recebem um treino mais diversificado; (b) os alunos dedicam mais tempo a estudar a resolução de um número mais reduzido de problemas, fazendo-o com maior detalhe.

18 Com probabilidade, as concepções e as atitudes que os pais e os irmãos (e, eventualmente, os avós) têm acerca das ciências influenciam, sobremaneira, a dedicação do aluno nas suas primeiras etapas escolares.

- Bachelard G. 1977. *La Formation de l'Esprit Scientifique: Contribution à une Psychanalyse de la Connaissance Objective*. 4 ed., Paris: Editions Vrin.
- Biggs J. 1996. Enhancing Teaching Through Constructive Alignment. *Higher Education*, **32**:347-364.
- Bonito J. 1994. Técnicas laboratoriais de biologia: um deslumbramento pedagógico. *Brotéria Genética*, **XV(XC)**:99-102.
- Bonito J. 2005. *Concepções Epistemológicas dos Professores de Biologia e de Geologia do Ensino Básico (3.º ciclo) e do Ensino Secundário e o caso das Atividades Práticas no Ensino das Ciências da Terra e das Ciências da Vida*. Coimbra: Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação, Univ. Coimbra. (Tese Dout., inédita).
- Bonito J. 2007. Perspectivas actuais sobre o ensino das ciências: clarificação de caminhos. In: Simpósio de Pesquisa em Ensino e História de Ciências da Terra, 1, e Simpósio Nacional sobre Ensino de Geologia no Brasil, 3, Campinas, 4-8.09.2007. *Apres oral...* Campinas, DGAE/IG/Unicamp. (inédito).
- Bruner J.S. 1989. *Acción, Pensamiento y Lenguaje*. Madrid: Alianza Psicología.
- Bruning R.H., Schraw G.J., Ronning R.R. 2002. *Psicología Cognitiva e Instrucción*. Madrid: Alianza Editorial.
- Burbules N.C., Linn M.C. 1991. Science Education and the Philosophy of Science: Congruent or Contradiction? *Int. J. Science Educ.*, **13**, 227-241.
- Carey S., Smith C. 1993. On Understanding the Nature of Scientific Knowledge. *Educational Psychologist*, **28**:235-251.
- Carretero M. 1993. *Constructivismo y Educación*. Zaragoza: Edelvives.
- Collins A.E., Brow J.S., Newman S.E. 1989. Cognitive Apprenticeship: Teaching the Craft of Reading, Writing, and Mathematics. In: L.B. Resnick ed. 1989. *Cognition and Instruction: Issues and Agendas*, Mahwah: New Jersey, Erlbaum, p. 453-494.
- Delclos V.R., Harrington C. 1991. Effects of Strategy Monitoring and Proactive Instruction on Children's Problem-Solving Performance. *J. Educ. Psychology*, **83**:35-42.
- Demastes S.S., Goog R.G., Peebles P. 1996. Patterns of Conceptual Change in Evolution. *J. Research in Science Teaching*, **33**:407-431.
- Ericsson K.A. 1996. The acquisition of expert performance. In: K.A. Ericsson. ed. *The Road to Excellence: The acquisition of expert performance in the Arts, Sciences, Sports, and Games*. Mahwah, New Jersey, Erlbaum. p. 1-50.
- Freire A.M.S. 2000. Trabalho Experimental: Concepções e Práticas de Estagiários de Física e Química. *Química*, **36**:28-36.
- Furió C.J., Iturbe J., Reys J.V. 1994. Contribución de la Resolución de Problemas con Investigación al Paradigma Constructivista de Aprendizaje de las Ciencias. *Investigación en la Escuela*, **24**:89-99.
- Garret R.M. 1988. Resolución de Problemas y Creatividad: Implicaciones para el Currículo de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, **6(3)**:229-230.
- Gick M.L. 1986. Problem-Solving Strategies. *Educational Psychologist*, **21**:99-120.
- Gil D. 1990. *Un Modelo de Resolución de Problemas como Investigación*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia-Lábor.
- Giordan A., Vecchi G. 1988. *Los Orígenes del Saber. De las Concepciones Personales a los Conceptos Científicos*. Sevilla, Díada Editoras.
- Gomes L. 2002. 8 de Setembro – A Equipa de Cientistas. Lisboa: *Notícias Magazine*, p. 66.
- Izquierdo M. 2000. Fundamentos Epistemológicos. In: F. J. Perales e P. Cañal. dir. 2000. *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Editorial Marfil. p. 35-64.
- Izquierdo M. 2001. Constructivismo versus Socio-constructivismo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, **9**:239-242.
- Jong O.de. 1998. Los Experimentos que Plantean Problemas en las Aulas de Química: Dilemas y Soluciones. *Enseñanza de las Ciencias*, **16**:305-314.
- King A. 1991. Effects of Training in Strategic Questioning on Children's Problem-Solving Performance. *J. Educ. Psychology*, **83**:307-317
- Kuhn D. 1989. Children and Adults as Intuitive Scientists. *Psychological Review*, **96**:674-689.
- Kuhn D. 1991. *The Skills of Argument*. New York: Cambridge Univ. Press.
- Kuhn D., Amsel E., O'Loughlin M. 1992. *The Development of Scientific Reasoning Skills*. 2 ed., San Diego: Academic Press.
- Larkin J.H. 1977. *Skilled Problem Solving in Experts*. Berkeley: Univ. Califórnia.
- Linn M.C., Songer N.B., Eylon B. 1996. Shifts and Convergences in Science Learning and Instruction. In: D.C. Berliner e R.C. Calfee. eds. 1996. *The Handbook of Educational Psychology*. New York:

- Macmillan. p. 438-490.
- López D. 2002. *Desmistificando el Constructivismo. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, **10**:173-178.
- López-Rupérez F. 1991. *Organización del Conocimiento y Resolución de Problemas en Física*. Madrid: Centro de Investigación y Documentación Educativa.
- Martínez-Torregrosa J. 1987. *La Resolución de Problemas de Física como Investigación: Un Instrumento de Cambio Metodológico*. Sevilla: Univ. Sevilla. (Tese Dout., inédita).
- Moshman D. 1982. Exogenous, Endogenous, and Dialectical Constructivism. *Developmental Review*, **2**:371-384.
- Neto A.J. 1995. *Contributos para uma Nova Didáctica da Resolução de Problemas: Um Estudo de Orientação Metacognitiva em Aulas de Física do Ensino Secundário*. Évora: Univ. Évora. (Tese Dout., inédita).
- Neto A.J. 1998. *Resolução de Problemas em Física. Conceitos, Processos e Novas Abordagens*. Lisboa: Inst. Inovação Educacional.
- Nussbaum J., Novick N. 1982. Alternative Frameworks, Conceptual Conflict, and Accommodation: Toward a Principled and Teaching Strategy. *Instructional Science*, **11**:183-200.
- Patrício M.F. 2000. *A Formação Antropagógica dos Professores do Ensino Superior*. In: Colóquio "A Formação Pedagógica dos Professores no Ensino Superior", Lisboa. (Com. apres., Assoc. Educ. Pluridimensional e da Escola Cultural).
- Pintrich P.R., Marx R.W., Boyle R.A. 1993. Beyond cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, **63**:167-199
- Pizzini E.L., Shepardson D.P., Abell S.K. 1991. The Inquiry Level of Junior High Activities: Implications to Science Teaching. *J. Research in Science Teaching*, **28**:111-121.
- Prawat R.S. 1996. Constructivisms, Modern and Post-modern. *Educational Psychologist*, **31**:215-225
- Pressley M., Harris K.R., Marks M.B. 1992. But Good Strategy Instructors are Constructivists! *Educational Psychology Review*, **4**:3-31.
- Reynolds A.J., Walberg H.J. 1991. A Structural Model of Science Achievement. *J. Educ. Psychology*, **83**:97-107.
- Reynolds A.J., Walberg H.J. 1992. A Structural Model of Science Achievement and Attitude: An Extension to High School. *J. Educ. Psychology*, **84**:371-382.
- Rogoff B. 1990. *Apprenticeship in Thinking: Cognitive Development in Social Context*. New York: Oxford Univ. Press.
- Roth K.J. 1985. Abril. *Conceptual Change Learning and Student Processing of Science Texts*. Com. apres. Reunião Anual da American Educational Research Association, Chicago. URL: <http://www.aera.com/aeraar/1985/roth/201.658/html>, Arquivo capturado em 2003).
- Santos M.E. 1990. *Mudança Conceptual na Sala de Aula*. Um Desafio Pedagógico. Lisboa: Livros Horizonte.
- Santos M.E. 1991. Mudança Conceptual na Aprendizagem. In: M.T.M. Oliveira. coord. 1991. *Didáctica da Biologia*. Lisboa: Universidade Aberta. p. 103-126.
- Santos M.L. 2001. *A Prática Lectiva como Actividade de Resolução de Problemas: Um Estudo com três Professores do Ensino Secundário*. Lisboa: Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. (Tese Dout., inédita).
- Sequeira M., Duarte M.C. 1993. Student's Alternative Frameworks and Teaching Strategies: A Pilot Study. *European J. Teacher Educ.*, **14**: 31-43.
- Sequeira M., Freitas M. 1987. Children's Alternative Conceptions about «Mold» and «Copper Oxide». In: J. Novak. ed. 1987. In: Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Proceedings of the International Seminar. 2 ed., Ithaca: Cornell Univ. p. 413-423.
- Simon D.P., Simon H.A. 1978. Individual Differences in Solving Physics Problems. In: R. R. Siegler. ed. 1978. *Children's Thinking: What Develops?* Mahwah: New Jersey, Erlbaum
- Solé I., Coll C. 1997. Los Profesores y la Concepción Constructivista. In: C. Coll et al.. *El Constructivismo en el Aula*. Barcelona: Ed. Graó. p. 7-23.
- Steffe L., Gale J. eds. 1995. *Constructivism in Education*. Mahwah: New Jersey.
- Trindade V. 2003. Uma Perspectiva didáctica para o ensino das ciências, In A Neto et al. orgs, *Didácticas e metodologias da educação*. Évora: Univ. Évora., 1075-1095
- Valadares J., Graça M. 1998. *Avaliando para Melhorar a Aprendizagem*. Lisboa, Plátano Ed. Técnicas.
- Varela M.P., Martínez A. 1997. Una Estrategia de Cambio Conceptual en la Enseñanza de la Física: La Resolución de Problemas como Actividad de Investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, **15**:173-188.
- White B.Y. 1993. Thinker Tools: Causal Models, Conceptual Change, and Science Education. *Cognition and Instruction*, **10**:1-100.