

DESENVOLVIMENTO COGNITIVO E ENSINO DE CIÊNCIAS

Terezinha Nunes Carraher *

O estudo do desenvolvimento cognitivo é um campo da Psicologia. O estudo do ensino e da aprendizagem de ciências, no entanto, precisa ser uma área interdisciplinar. É um estudo que precisa coordenar os conhecimentos de desenvolvimento cognitivo, não num sentido restrito mas num sentido amplo, considerando tanto as influências sócio-culturais sobre o desenvolvimento como os conhecimentos da ciência em questão, inclusive sua epistemologia e sua história. No entanto, esse entrosamento entre desenvolvimento cognitivo e ciência a ser ensinada não tem sido conseguido.

Os estudiosos do ensino de ciências, quer psicólogos, quer físicos, químicos ou matemáticos, têm-se ocupado mais com o desenvolvimento cognitivo e a Psicologia do que com as ciências a serem ensinadas. Os cientistas das ciências a serem ensinadas têm-se voltado mais para os problemas essencialmente da psicologia de interesse no ensino de ciências do que para as peculiaridades dos conceitos em suas próprias ciências, adotando por vezes o papel dos psicólogos, e abandonando seu papel específico no ensino de ciências.

Meu objetivo nesta análise será discutir uma forma de cooperação entre psicólogos e cientistas das ciências a serem ensinadas, de modo que cada um mantenha seu papel verdadeiro nessa cooperação. A fim de delinear uma forma em que considero esta cooperação entre psicólogos e cientistas das ciências a serem ensinadas como frutífera, gostaria de comentar como têm sido interpretadas as relações entre desenvolvimento cognitivo, aprendizagem e ensino de ciências na atualidade. Em segundo lugar, desejo apresentar uma alternativa para essas interpretações, a qual tem guiado e orientado nosso trabalho.

Não posso deixar de dizer que, embora o trabalho ao qual me refiro seja um trabalho conjunto, em que cooperam sempre DAVID CARRAHER, ANALÚCIA SCHLIE-MANN e eu própria, as idéias que vou apresentar aqui são de minha responsabilidade, são tentativas surgidas de nosso aprofundamento mais recente, e ainda inicial, no ensino de ciências, e de nossos trabalhos anteriores relacionados à aprendizagem da matemática.

A interpretação das relações entre o desenvolvimento cognitivo e o ensino de ciências não é simples e direta. Essa interpretação tem sido feita de forma variada, por diferentes autores, inspirando-se tanto em teorias diferentes como nas mesmas teorias psicológicas. Autores inspirados em PIAGET podem chegar a interpretações divergentes sobre as relações entre ensino de ciências e desenvolvimento cognitivo; por outro lado, diferentes autores podem inspirar-se em teorias psicológicas diferentes.

Por onde, então, começar essa discussão? A escolha de uma teoria como a mais apropriada é complexa. A teoria de PIAGET, apesar de ser a mais explícita e completa das teorias de desenvolvimento cognitivo, ainda tem muitos aspectos não explicitados e incompletos. As teorias em psicologia cognitiva estão em franco desenvolvimento. Por essa razão, prefiro não discutir a escolha de uma teoria, e sim *as interpretações que podem ser geradas para a relação entre desenvolvimento cognitivo e ensino de ciências.*

* Professora do Mestrado de Psicologia da Universidade Federal de Pernambuco.

De uma forma geral, podemos fazer uma distinção entre posições que pressupõem ser possível compreender e realizar o ensino de ciências sem uma análise do desenvolvimento cognitivo e posições que tratam o desenvolvimento cognitivo como um dos determinantes dos resultados da aprendizagem após o ensino de ciências.

Em primeiro lugar, vejamos como exemplo duas posições que simplesmente ignoram a existência de um desenvolvimento cognitivo. Há aqui duas posições distintas, que aparecem na literatura: uma *logicista* e uma *historicista*.

Na abordagem *logicista*, o desenvolvimento cognitivo não conta, não interessa. O que interessa é a apresentação da idéia a ser aprendida de uma maneira lógica, partindo-se das definições e das premissas mais simples até os aspectos mais complexos. Nessa abordagem, acredita-se que, se construirmos as idéias ou teorias científicas em todos os seus detalhes com os alunos, eles aprenderão bem. Essa é a idéia que permeia os livros de matemática, de modo especial.

Também os livros de biologia mostram exemplos frequentes da abordagem *logicista*. Entre os pesquisadores de ensino de ciências, atualmente, alguns se inclinam com maior ou menor convicção para essa posição: podemos citar como exemplo VIENNOT (1985). A Fig. 1 reproduz uma tentativa dessa natureza em biologia: apresentou-se por ilustrações os passos envolvidos na transformação dos alimentos nos diversos órgãos do aparelho digestivo, esperando-se, certamente, que a partir dessa apresentação o estudante viesse a compreender o processo da digestão.

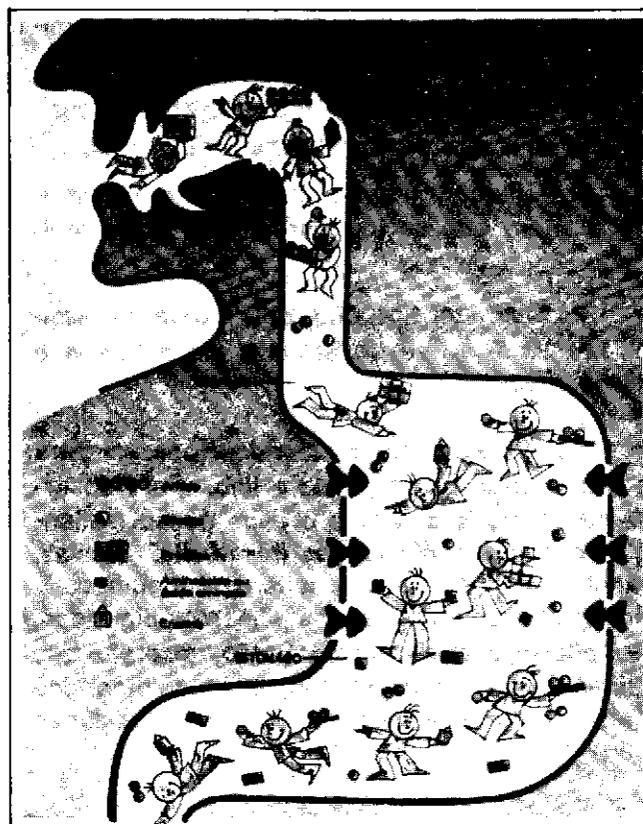
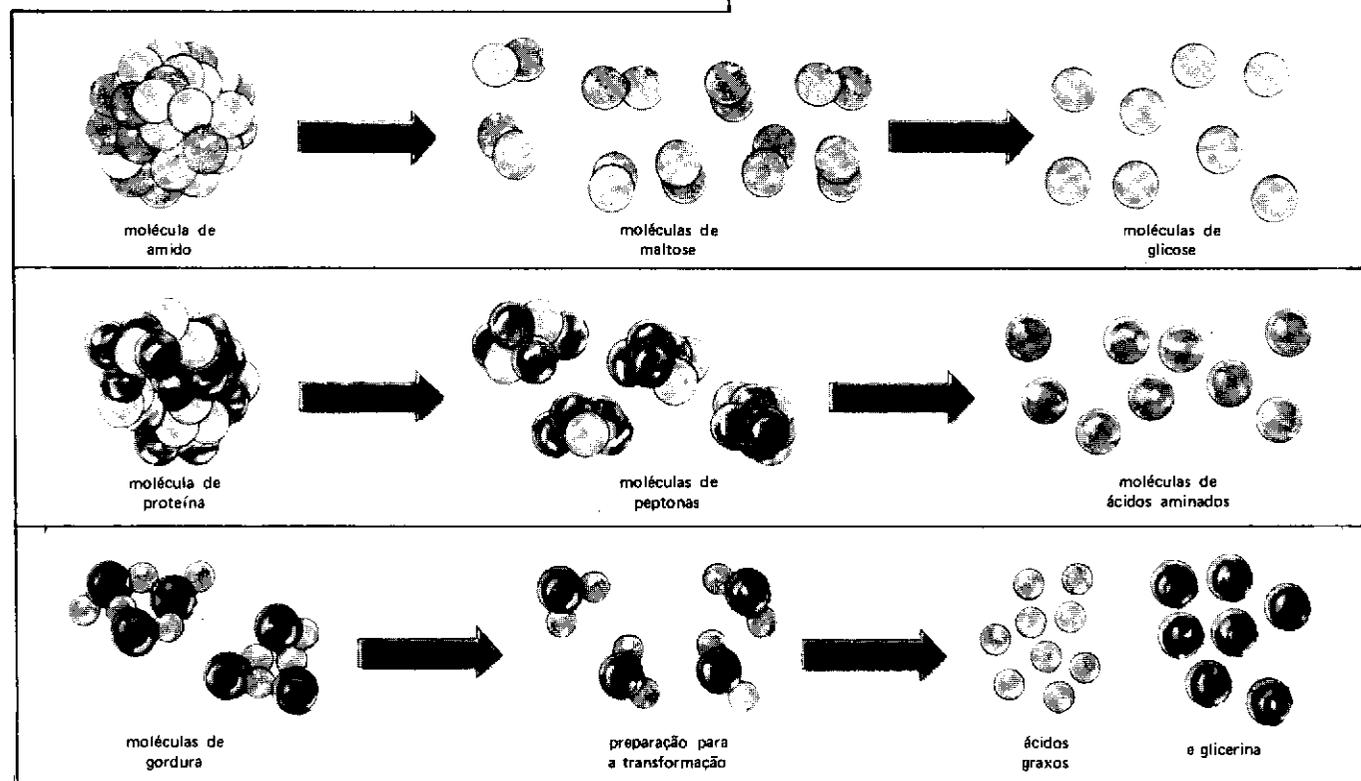


Figura 1



Fonte - NAPOLEÃO & ODAIR. Nosso corpo, nossa herança. In: - Ciências, 7ª Série. São Paulo, Instituto Brasileiro de Edições Pedagógicas, s. d. p. 31.

Uma variação da posição *logicista* é o que podemos chamar de uma abordagem *semanticista*. Nessa abordagem, o professor deveria procurar explicar claramente os significados das palavras, a fim de evitar confusões entre o sentido leigo dos termos e seu significado nas ciências. OSBORNE (1983), por exemplo, explorou a viabilidade dessa abordagem, num estudo recente. Após analisar o significado do termo científico do termo "força" (OSBORNE; BELL; GILBERT, 1983), tentou-se o desenvolvimento de um programa de instrução em que o estudante recebia explicações que visavam mostrar-lhe que sua utilização do termo correspondia, na realidade, mais ao conceito de "momento" do que ao conceito de "força" em Física. Sua tentativa, porém, não mostrou progresso significativo dos alunos ao final da instrução.

Outra variação do *semanticismo* repousa sobre o uso de analogias ao invés da explicação do significado das palavras. Apesar das analogias serem construídas de modo a aproveitarem conceitos ou imagens que o estudante provavelmente domina, sua utilização não leva em consideração o desenvolvimento cognitivo. Apresentamos um exemplo dessa abordagem do ensino de ciências na Fig. 2.

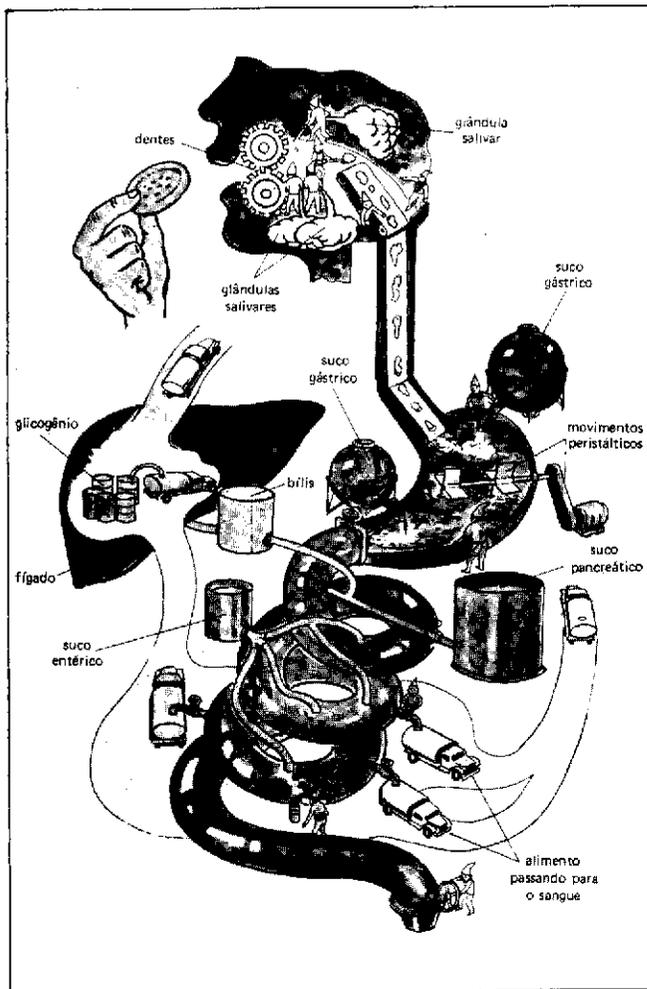


Figura 2
Fonte - NAPOLEÃO & ODAIR. Nosso corpo, nossa herança. In: - Ciências, 7ª Série. São Paulo, Instituto Brasileiro de Edições Pedagógicas, s. d. p. 49.

Na posição *historicista*, acredita-se que o caminho para um bom ensino de ciências consiste em ensinar a criança algo sobre a história dos conceitos científicos aos quais ela está sendo exposta em sala de aula, assim como sobre a época em que as várias concepções que surgiram ao longo da história se desenvolveram e foram abandonadas, inclusive apresentando os argumentos que levaram às mudanças conceituais. Esse ensino historicista ignora o desenvolvimento cognitivo, pois tanto desconsidera as próprias dificuldades de se compreender a história enquanto ciência, como também deixa de considerar que evidências convincentes só são compreendidas como tal pelos que têm uma determinada perspectiva do problema.

Quando se discute na aula de geografia, por exemplo, que os antigos achavam que a terra era plana e que hoje sabemos que ela é redonda, freqüentemente menciona-se que as concepções mudaram diante de vários "fatos", como as viagens de circunavegação, os eclipses da lua, etc. No entanto, esses fatos só são convincentes para navegadores e astrônomos, não são para crianças. Alguns autores têm advogado essa posição historicista com maior ou menor ênfase, como GILBERT & ZYLBERSZTAJN (1985) e PRETTO (1982). O historicismo está freqüentemente associado ao *semanticismo*.

As posições mencionadas acima não consideram o desenvolvimento cognitivo como uma das condições que determinam o resultado final da aprendizagem, após o ensino em sala de aula. Desejo enfatizar que, do ponto de vista da psicologia cognitiva, essas posições não são compatíveis com uma visão construtivista do conhecimento. Para que se possa aceitar que basta que ensinemos um assunto com todos os seus detalhes lógicos ou históricos para que a aprendizagem efetivamente ocorra é necessário que se acredite que a aprendizagem é uma simples transmissão de conhecimentos do professor para o aluno - uma visão empirista do conhecimento - ou que o conhecimento pode ser todo obtido por meios dedutivos, a partir de estruturas já formadas na mente, sendo que o professor simplesmente orienta o estudante no caminho dessas deduções - uma visão idealista do conhecimento.

Como não há tempo aqui para uma crítica dessas duas posições epistemológicas, mencionarei apenas que uma discussão interessante sobre o assunto pode ser encontrada em David CARRAHER (1983). Note-se, no entanto, que é possível ter uma posição construtivista sem considerar o desenvolvimento cognitivo; é o caso de autores como GILBERT & ZYLBERSZTAJN (1985). Esses autores não adotam rigorosamente nem uma posição historicista, nem uma posição semanticista; apesar de algumas sugestões isoladas nos dois sentidos, GILBERT & ZYLBERSZTAJN (1985) não chegam a nenhuma definição mais clara do que se pode ensinar em sala de aula. Sua posição assemelha-se a de outros autores que mostram-se conscientes da existência de "concepções alternativas" entre os estudantes para fenômenos científicos, mas não chegam a propor uma forma sistemática de atuação que leve em conta essas concepções e promova, de alguma forma, o progresso da criança na direção de uma concepção mais semelhante à científica.

Quando se atribui ao desenvolvimento um papel fundamental na determinação da aprendizagem obtida após o ensino, existem diversas maneiras de se encarar o papel do desenvolvimento. Vejamos algumas.

Primeiro, a teoria de desenvolvimento cognitivo pode ser tratada como delimitadora do que o aluno pode aprender. Essa é uma interpretação *prescritiva* do desenvolvimento. Ela pressupõe que a educação, a transmissão cultural, não tem qualquer papel no desenvolvimento, podendo afetar apenas o que o indivíduo aprende com as capacidades que já desenvolveu. Esse tipo de interpretação resulta numa abordagem ao ensino de ciências que consiste essencialmente na elaboração de um catálogo de noções que podem ser ensinadas nessa ou naquela idade. SHAYER (1981) é talvez o exemplo mais característico desse tipo de interpretação. DUCKWORTH

(1979) apresentou uma excelente crítica dessa atitude em seu artigo "Ou é muito cedo e eles não vão aprender, ou é muito tarde e eles já sabem".

O quadro 1 apresenta exemplos retirados de SHAYER & ADEY (1981).

QUADRO 1

O que se pode ensinar nos diferentes níveis piagetianos.

RESPIRAÇÃO, NUTRIÇÃO E TRANSPORTE

Nível 2A

A comida dá energia. O coração é como uma bomba. O sangue passa pelo corpo deixando e recolhendo substâncias.

Nível 2B

A respiração oferece oxigênio para que a comida se transforme para gerar energia. O coração e os pulmões são um sistema que possibilita isso. Transporte de alimentos nas plantas (experimento).

Nível 3A

Transporte de gás nas plantas. Compreensão analítica da difusão: O_2/CO_2 , passando através das membranas dos pulmões. A eficiência dos capilares. Pressão como força por V de área. Osmose como processo ocorrendo entre soluções de diferentes concentrações.

Nível 3B

Homeostase. A necessidade de transporte, em termos da razão do volume em relação à área de superfície do corpo.

Fonte: SHAYER, M. & ADEY, P. *Towards a science of science teaching, cognitive development and curriculum demand*. Londres, Heinemann Educational Books, 1981.

A abordagem prescritiva tem sido a mais popular no Brasil entre os adeptos da teoria piagetiana, embora ela não seja a única possibilidade para os piagetianos. Duas formas de aplicação dessa abordagem são comuns entre nós. A primeira trata as estruturas cognitivas como *pré-requisitos* para a aprendizagem escolar. Essa interpretação sugere, como salientou DUCKWORTH (1970), que é inútil tentar ensinar qualquer coisa aos alunos quando eles não têm as estruturas cognitivas necessárias. Deve-se salientar aqui que essa interpretação da teoria piagetiana parece constituir a assimilação de uma teoria de desenvolvimento a uma abordagem empirista da aprendizagem, sendo a aprendizagem um processo que deve ser realizado, passo a passo, numa seqüência pré-determinada.

O conceito de interação entre sujeito, por um lado, e objeto e mundo social, por outro, tão importante na teoria piagetiana, perde-se nessa concepção de estruturas cognitivas como *pré-requisitos* da aprendizagem escolar. O segundo tipo de abordagem prescritiva do desenvolvimento observado no Brasil segue a linha de "treinamento das estruturas cognitivas". Nessa abordagem, as estruturas cognitivas ainda são tratadas como *pré-requisito* para a aprendizagem, devendo a escola implementar programas de treinamento para que as estruturas necessárias se desenvolvam, antes de apresentar aos alunos os conteúdos em que essas estruturas cognitivas estão embutidas. Conceitualmente, essas duas formas de trabalho não divergem muito; é apenas na atuação nas escolas que podemos distingui-las uma da outra.

Outra forma de interpretar a relação entre desenvolvimento cognitivo e ensino da ciência consiste em enfatizar demasiadamente os paralelos entre desenvolvimento ontogenético e desenvolvimento histórico. O pressuposto básico nessa abordagem parece ser a noção de que o desenvolvimento das idéias se dá sempre pelo mesmo caminho; ou seja, certas idéias pressupõem outras, e por isso essas últimas devem ser ensinadas antes das primeiras. Essa interpretação resulta numa concepção de ensino de ciências que podemos chamar de *recapituladora*: o aluno de hoje precisa recapitular os passos no desenvolvimento das ciências para chegar onde estamos hoje. Essa interpretação tem sido oferecida esporadicamente por alguns estudiosos, embora eu não tenha encontrado exemplos de sua defesa na literatura escrita sobre o assunto.

Uma quinta forma de abordar o assunto é a que propomos aqui, a qual podemos denominar *analítica*, provisoriamente. Nessa abordagem, propõe-se que o estudo do desenvolvimento cognitivo, da epistemologia, da história da ciência, dos conceitos culturalmente difundidos entre nossos alunos nos dá boas pistas para a análise das dificuldades que encontramos em sala de aula. Através dessas disciplinas (Psicologia, História, Antropologia e Epistemologia), podemos antecipar as dificuldades na compreensão da ciência a ser ensinada e buscar meios para a superação dessas dificuldades. Por outro lado, é apenas a partir da análise dos conceitos a serem ensinados, a qual é *trabalho específico do cientista do ramo*, que se podem encontrar esses "obstáculos epistemológicos". A fim de melhor explicitar esse ponto de vista, precisamos fazer algumas considerações sobre a natureza do desenvolvimento cognitivo e dos obstáculos que ele pode colocar na aprendizagem.

Uma distinção útil em cognição, atualmente, e paralela à mesma distinção usada em biologia, é a que fazemos entre estrutura e função. A teoria piagetiana sobre o desenvolvimento cognitivo enfatiza o desenvolvimento das *estruturas* cognitivas, as quais, segundo o autor, influenciam decisivamente os processos utilizados pelo estudante ao conhecer ou aprender. Na biologia, esses conceitos não oferecem grande dificuldade: por exemplo, a estrutura do sistema nervoso ao nível da retina (presença de receptores apropriados) é importante para sabermos se o animal é ou não capaz de discriminar cores. A estrutura anatômica do braço determina que tipo de movimento podemos fazer e que tipo de movimento não podemos fazer.

Quando se enfatiza o papel das *estruturas* em Psicologia, o resultado são as teorias prescritivas para o ensino de ciências. Por outro lado, o exercício ou a função das estruturas também podem afetar seu funcionamento. Quem pratica halterofilismo pode usar o braço de modo diferente de quem não pratica. Quem dança balet pode fazer movimentos impossíveis para os que não dançam. Quando enfatizamos a *interação* entre estrutura e função, abandonamos a abordagem prescritiva ao ensino de ciências. Passamos, então, a perguntar-nos quais são as dificuldades dos conceitos científicos e de seu uso pelo aluno, e como podemos encontrar meios para que o aluno "exerça funções" que o auxiliem a lidar com essas dificuldades.

Do ponto de vista cognitivo, podemos distinguir ainda dois tipos de obstáculos epistemológicos no caminho do estudante de ciências.

Primeiro, existem, naturalmente, as dificuldades específicas dos conceitos. Essas dificuldades conceituais são, via de regra, associadas a mudanças na concepção dos fenômenos ao longo da história da ciência; podemos encontrar exemplos de cientistas ou filósofos de renome que, apesar de envolvidos no estudo da questão, não puderam vencê-las. Há, nesses casos, paralelos entre a história de uma ciência e o desenvolvimento das idéias de um estudante hoje, ao lidar com o mesmo problema. A solução dessas dificuldades conceituais constitui, segundo Piaget, verdadeiras "mutações intelectuais", que foram obtidas por pessoas excepcionais no decorrer da história, mas que não precisam ser reinventadas e podem ser eventualmente compreendidas pelos estudantes, com o auxílio da instrução.

Por outro lado, existem também dificuldades lógico-matemáticas, relacionadas à mensuração ou à definição operacional de conceitos científicos e sua aplicação a casos específicos por dedução. Podemos tratar essas dificuldades lógico-matemáticas como dificuldades de outra natureza, uma vez que elas não estão relacionadas ao conteúdo específico do conceito em questão. O estudo hoje denominado "concepções alternativas" em pesquisa sobre ensino de ciências lida com as dificuldades dos conteúdos específicos.

A teoria de Piaget desenvolveu-se em torno do estudo das dificuldades lógico-matemáticas. No entanto, devo deixar claro que não creio que as concepções e as questões lógico-matemáticas sejam totalmente independentes entre si. Podemos distingui-las visando uma análise melhor das mudanças na compreensão e no desenvolvimento do conhecimento dos estudantes durante seu percurso nos cursos de ciências.

Para melhor explicar essa questão, vejamos alguns exemplos. Na filosofia antiga, a coordenação entre identidade e transformação foi extremamente difícil. Temos conhecimento de filosofias divergentes nesse sentido, sendo que algumas posições utilizavam uma interpretação estática das coisas, onde a identidade dominava, enquanto outras propunham uma interpretação dinâmica, onde tudo estava continuamente em mudança. Essa lição da história do conhecimento nos mostra que existe aqui um problema epistemológico complexo: ou as coisas são o que são e não podem ser outra coisa, ou elas estão sempre se transformando e nunca podemos dizer nada sobre sua identidade.

No desenvolvimento cognitivo, isso é também um problema. Esse problema foi estudado por Piaget e seus colaboradores - PIAGET; SINCLAIR; BANG (1968), sob o nome tanto de identidade como de conservação. No caso da conservação, a ênfase recai sobre a quantidade; no caso da identidade, a ênfase recai sobre o objeto em si (essa é a mesma água, esse é o mesmo colar de contas, etc.).

As relações entre identidade e transformação são problemáticas também em vários conceitos científicos. Na física, temos exemplos relacionados a mudanças de estado: condensação de água em torno de um copo com água gelada, bolhas de "ar" quando a água entra em ebulição, bem como a transformação de ondas sonoras, que são deslocamentos de ar, em ondas magnéticas, elétricas, e depois sonoras novamente, por exemplo, numa simples gravação e sua posterior reprodução.

Na biologia, o problema se apresenta tanto historicamente quanto no ensino de vários conceitos científicos. Historicamente, temos a questão da evolução e origem das espécies. As espécies eram consideradas fixas - exemplificando a ênfase na identidade e as conseqüentes dificuldades de se aceitar a transformação. Em DARWIN, temos a coordenação de identidade e transformação, com uma certa ênfase na transformação, sendo o conceito de espécie tratado quase como fictício. No ensino de biologia, o problema da coordenação entre identidade e transformação aparece em vários contextos: digestão, reprodução, evolução, sensação (sentidos). Na digestão e na reprodução há alguns estudos que exemplificam essa dificuldade. Na reprodução, aparecem crenças em uma miniatura da planta já existente na semente, ou do bebê já existente na esperma, por sujeitos que enfatizam a identidade, sendo isso observado tanto em crianças atualmente como historicamente entre cientistas e filósofos (Ver Quadro 2).

No estudo da digestão, observam-se dificuldades entre as crianças, ao tentarem resolver a questão da identidade dos alimentos que entram e sua relação com os detritos que saem e com os elementos que ficam no corpo e "ajudam a crescer". Embora a maioria das crianças compreenda que a comida ajuda a crescer, elas têm dificuldades em desenvolver uma forma de lidar com o fato de que ingerimos alimentos como arroz, feijão, chocolate etc., mas não somos formados por esses alimentos. Suas soluções para o problema são interessantes (Ver exemplos no Quadro 3).

QUADRO 2

ARISTÓTELES: "A propagação implica uma semente criadora que contém certas propriedades formadoras"... "O pai de um animal pré-existe, não somente em idéia mas também no tempo. Pois o homem é gerado do homem; assim, é a posse de certas características pelo pai que determina o desenvolvimento de características semelhantes no filho". (Note-se a posição de desenvolvimento no que diz respeito ao embrião, porém com fixidez da espécie).

LEIBNIZ: "Pessoas com grande cuidado em experimentos já suspeitaram que um animal totalmente novo talvez não seja produzido nunca e que animais totalmente vivos, assim como plantas, talvez já existam em miniatura no germe antes da concepção."... "Camera-rius de Tübingen acreditava que a semente era como um ovário e o pólen (embora da mesma planta) como o esperma do macho. Mas mesmo que isso fosse verdade, a questão ainda permaneceria se a base da transformação, o organismo pré-formado, está no ovário ou no esperma. Pois um ser pré-formado deve ser sempre a base das transformações". (Note-se a ênfase na essência permanente, sem a possibilidade da criação mesmo de um novo ser, sendo pois ainda mais difícil conceber-se aqui a criação de uma nova espécie).

Fonte: ROSS, W.D, org. The method of natural science; de partibus animalium. *Aristotle Selections*, New York, Scribners, 1955.

LEIBNIZ, G.W. Considerations on the principles of life. *Leibniz*, New York, Scribners, 1951.

QUADRO 3

Situação: O aluno recebe um chocolate e, à medida que o come, fala sobre o que acha que está acontecendo com o chocolate.

Estudante: Olha, o chocolate passou pela garganta, né, pronto, aqui é ele. Mas ele passou por aqui, passou no estômago, né. Do estômago ele passou pro coração, circulou, circulou, né. Aí, daqui pro coração onde ele circulou, ele veio pro intestino delgado, né, o intestino delgado aqui. Aqui tem muitas veias que apuram as vitaminas pra sair por aqui, pra ir por nosso corpo, as vitaminas. E o que não prestou foi no aparelho digestivo, porque no intestino grosso pra transformar em fezes, né. Depois as fezes sai e as vitaminas ficaram no nosso corpo.

Examinador: Como é que se transforma em fezes aqui?

Estudante: Porque aqui tem uma máquina, parece, que transforma as coisas que não prestam em fezes.

Note-se que não há uma verdadeira transformação, há apenas uma separação entre "as vitaminas" e "as partes que não prestam". As substâncias já existiam e são apenas apuradas (que significa "filtradas" segundo o estudante). As explicações "mistura com as outras comidas" ou "apodrece" são freqüentemente usadas para determinar o processo de transformação em fezes, enquanto que as vitaminas são apenas "filtradas" do chocolate pelas veias ou pelo intestino, ou mesmo pelo coração.

Um exemplo, bem documentado em química, da dificuldade de se lidar com identidade e transformação é apresentado no Quadro 4.

QUADRO 4

Situação: O estudante recebeu instrução sobre a composição de moléculas por partes menores, que são designadas no exemplo por partículas, e que tinham cores diferentes. Observa, em seguida, um exemplo de combustão de um pedaço de madeira sob uma redoma, resultando na formação de "vapor".

Professor: Se eu disser que a madeira é formada de moléculas, você sabe explicar como se forma o vapor quando a madeira queima?

Estudante: ... Deixa ver se nas moléculas de madeira tem as mesmas partículas de água, do vapor.

Professor: Na madeira tem as partículas 1 e 6. Você sabe explicar agora?

Estudante: Não. Porque não tem das vermelhas (oxigênio).

Note-se a dificuldade do aluno em conceber que a modificação das propriedades de um objeto não resulta da transformação isolada de cada uma das substâncias, mas da interação de diversas substâncias.

Fonte: MEHERT, M. et alii. Pupil's (11-12 years) conception of combustion. *European Journal of Science Educational, s.l., 7:83-93, 1985.*

Consideremos agora alguns exemplos de obstáculos lógico-matemáticos que surgem no ensino de ciências. Um dos obstáculos matemáticos mais importantes no primeiro e segundo graus está relacionado ao desenvolvimento do esquema de proporcionalidade, para usar a linguagem piagetiana. A proporcionalidade está envolvida tanto na compreensão de conceitos em física (por exemplo, velocidade, densidade), como em química (molaridade) e em biologia (probabilidade do nascimento de um descendente com determinadas características, conhecendo-se as características dos pais). Toda vez que uma variável for quantificada por uma fração ou razão, o conceito de proporcionalidade estará implicado. Como esse conceito tem sido estudado intensamente, não o discutirei aqui em detalhes.

Entre os obstáculos lógicos, é importante lembrar que a aplicação de conceitos científicos a exemplos específicos exige uma análise do problema. Frequentemente, evitamos essa análise no ensino de ciências, de várias formas. Primeiro, ensinamos essas aplicações, sempre que possível, através de fórmulas, as quais são utilizadas pelos alunos sem uma compreensão básica do que fazem. Segundo, procuramos dar aos alunos somente exercícios com as fórmulas do(s) capítulo(s) estudado(s) na época, o que facilita sua tarefa de análise. Terceiro, é habitual que evitemos questões conceituais, utilizando apenas "definições", e raramente análises conceituais dos problemas (como, por exemplo: se você quisesse saber x, que informações precisaria obter e como iria trabalhar esses dados?).

O Quadro 5 apresenta um exemplo de exercício analítico que pode ser feito em biologia. Observe-se que o estudante, apesar de demonstrar algum conhecimento dos conceitos de gen recessivo e dominante, e de ter uma noção de como se trabalha a combinação dos alelos, terminou por chegar a uma conclusão inadequada, por não vencer um obstáculo lógico: a conclusão requer a lógica proposicional, a qual não foi adequadamente utilizada. Esse exemplo, retirado de CARRAHER (1983), foi estudado por aquele autor em grande detalhe. CARRAHER observou que o ensino de noções de genética a estudantes de medicina não é suficiente para auxiliá-los a obter uma solução correta para problemas desse tipo, pois ape-

nas 39% dos estudantes de medicina (os quais já haviam estudado genética) responderam corretamente a questão.

QUADRO 5

Problema apresentado a estudantes universitários.

A medicina provou que:
SE AMBOS OS PAIS TÊM OLHOS AZUIS, ENTÃO SEUS FILHOS VÃO TER OLHOS AZUIS.

- Fernando tem olhos azuis. Baseado nas informações acima, o que se pode concluir sobre a cor dos olhos dos pais dele?
- Maria tem olhos castanhos. O que você sabe sobre a cor dos olhos dos pais dela? Por quê?
- A mãe e o pai de Maria podem ter olhos azuis? Por quê?

Porcentagem observada entre estudantes de

	Ciências Humanas	Engenharia	Medicina
Acerto em todas as partes do problema	9	42	39
Erro em alguma parte do problema	91	58	61
	N = 77	N = 80	N = 43

Exemplo de um protocolo de estudante de medicina respondendo a parte (a): "Geneticamente: os pais podem ter olhos azuis ou de outra cor. Porque, se forem heterozigotos, há possibilidade do filho ser recessivo. Com relação aos dados acima, os pais dele têm olhos azuis". (Note-se a discrepância entre o conhecimento aprendido, reproduzido na primeira parte da resposta, e a conclusão).

Fonte: CARRAHER, D.W. *O Senso Crítico do Estudante Universitário*. s.l., UFPE, 1983. (Relatório)

IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DAS CIÊNCIAS: O TRABALHO DE COLABORAÇÃO ENTRE VÁRIAS DISCIPLINAS

A abordagem sugerida acima para a compreensão das relações entre desenvolvimento cognitivo e ensino de ciências tem implicações imediatas para o ensino de ciências e matemática, embora ainda exista muito a ser pesquisado no campo. Em primeiro lugar, a pesquisa sobre ensino de ciências precisa tornar-se verdadeiramente interdisciplinar. O cientista do ramo é quem pode identificar os conceitos em sua ciência que apresentam dificuldades especiais do ponto de vista do conteúdo. É o professor de ciências que encontra essas dificuldades em sala de aula e precisamos instrumentá-lo para, a partir de uma análise de erros, chegar a uma primeira identificação da natureza da dificuldade. Podemos também buscar na história da ciência indícios dessas dificuldades específicas, informando-nos sobre as mudanças conceituais e paradigmáticas ocorridas. O cientista do ramo precisa também examinar a natureza das medidas usadas para a análise dos fenômenos que serão ensinados em cada momento e a lógica usada na aplicação dos conceitos.

A primeira identificação dos obstáculos epistemológicos é uma tarefa interdisciplinar, mas que precisa privilegiar a atuação do cientista do ramo. A psicologia pode, a seguir,

contribuir para a análise das relações entre o desenvolvimento cognitivo e a superação desses obstáculos epistemológicos. A psicologia pode auxiliar na análise de questões como: seriam as concepções alternativas observadas variações conceituais obtidas em um mesmo nível de desenvolvimento, ou elas refletem diferentes níveis de desenvolvimento cognitivo? Em que época podemos antecipar uma menor resistência na aprendizagem, diante dos obstáculos epistemológicos em questão? Como avaliar os efeitos de programas de ensino desenvolvidos experimentalmente para lidar com esses obstáculos epistemológicos? Quais os contextos que favorecem a compreensão dos conceitos em pauta?

A discussão dos tipos de obstáculo epistemológico a serem conquistados no ensino de ciências indica ainda que a integração entre o professor de ciências e o professor de matemática é essencial. O ensino de matemática, se orientado de modo semelhante ao ensino de ciências, estará paralelamente levando os estudantes à compreensão de como os modelos matemáticos podem ser utilizados para nos auxiliarem na solução de problemas. Se o ensino de matemática for realizado dessa forma, a proporcionalidade, por exemplo, não será ensinada como um tópico que envolve a aprendizagem da regra de três, mas como um tópico que envolve uma compreensão de um mundo matemático novo, em que utilizamos números racionais e não inteiros, como até então no programa de matemática, e sobre os quais operamos diferentemente, com seqüências diferentes após as operações (por exemplo, os estudantes, em geral, não se apercebem do fato de que, ao multiplicarmos um número por uma fração, o resultado é menor do que o número, e continuam esperando que a multiplicação aumente o valor).

Por outro lado, essa interdisciplinaridade é essencial também para o ensino de matemática. A psicologia pode oferecer como auxílio os conhecimentos (em desenvolvimento) sobre o desenvolvimento de conceitos lógico-matemáticos, enquanto que as ciências naturais podem sugerir ao professor de matemática exemplos construtivos de problemas científicos a serem resolvidos a partir da compreensão do modelo matemático. Um caso interessante que podemos comentar é o ensino de probabilidades e análise combinatória. Em matemática, esse ensino é feito com exemplos como: "se jogarmos um dado n vezes, os resultados prováveis..." ou pela combinação de fichas de cores diferentes. O interesse do exemplo conjecturado para o estudante é duvidoso. No entanto, na mesma série os estudantes estão freqüentemente aprendendo sobre gens dominantes e recessivos, um assunto que é sempre muito motivador. Nesse estudo, poderiam estar também aprendendo sobre análise combinatória e probabilidades.

Os exemplos dos livros de matemática, para não se comprometerem com uma ciência, tendem a não se comprometer com nenhuma, não revelando assim, para os alunos, o poder da matemática como instrumento científico. Por outro lado, a abordagem que usamos hoje no ensino de ciências encobre os modelos matemáticos subjacentes, oferecendo fórmulas prontas para os estudantes calcularem, por exemplo, o tempo utilizado para um percurso em função da velocidade e da distância.

Se tratarmos o ensino de ciências e matemática do modo proposto aqui, compreenderemos que os obstáculos epistemológicos a serem vencidos nas diferentes disciplinas podem ser muito semelhantes, e poderemos tirar maior proveito do fato de que esses obstáculos são enfrentados em diferentes contextos pelo estudante, durante sua vida escolar. Uma das mais importantes lições da teoria de aprendizagem consiste na identificação do fenômeno conhecido como *learning set*: quando um sujeito descobre a solução de vários problemas com conteúdos diferentes, mas com a mesma estrutura, um dos resultados dessa prática consiste na descoberta da própria estrutura, a qual pode depois ser aplicada em situações novas. O ensino integrado de matemática e ciências pode tirar proveito disso.

A análise dos obstáculos epistemológicos pode também dar indicações sobre que tipo de problema deve merecer maior ou menor atenção por parte do professor; os problemas com obstáculos epistemológicos menores ou associados a estruturas cognitivas que se desenvolvem mais cedo podem ser objeto de menos discussão em sala de aula e mais atividade independente por parte dos alunos. Os problemas que envolvem obstáculos epistemológicos maiores devem merecer maior atenção, mais tempo para discussão entre estudantes e maior integração entre as diversas oportunidades que surgem no currículo escolar para se lidar com a questão.

Finalmente, deve-se salientar que a discussão precedente não se aplica apenas ao ensino de ciências, mas pode também ser aplicada ao campo da alfabetização. A abordagem prescritiva para a alfabetização tem tal força no Brasil que todas as habilidades relacionadas ao progresso na alfabetização têm sido rapidamente transformadas em "testes de prontidão", com a conseqüente exclusão dos "imaturos" das atividades que visam à alfabetização, ficando esses alunos nos chamados "períodos preparatórios". Os períodos preparatórios, via de regra, não expõem os alunos ao contacto com a língua escrita, o objeto cujo conhecimento se pretende promover através da alfabetização. Tal prática tenta evitar que o aluno explore o próprio objeto de conhecimento que poderia provocar as contradições de suas concepções sobre a escrita, caso essas sejam inadequadas, gerando os conflitos cognitivos considerados como motivadores de mudança. Antes que essa prática prescritiva passe a ter a mesma influência sobre os destinos do ensino de ciências, é necessário reavaliar sua base teórica e empírica. O presente trabalho constitui uma tentativa de contribuir para tal avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARRAHER, D. *O senso crítico do estudante universitário*. s.l., s.e., 1983. (Relatório de pesquisa apresentado ao INEP).
- DUCKWORTH, E. Either we're too early and they can't learn it or we're too late and they know it already; the dilemma of "applying Piaget". *Harvard Educational Review*, s.1., 49:297-312, 1979.
- GILBERT, J. K. & ZYLBERSZTAJN, A. A conceptual framework for science education: the case study of force and movement. *European Journal of Science Education*, s.1., 7:107-120, 1985.
- LEIBNIZ, G. W. Considerations on the principles of life. *Leibniz*, New York Scribners, 1951.
- MEHERT, M. et alii. Pupil's (11-12 years) conception of combustion. *European Journal of Science Education*, s.1., 7:83-93, 1985.
- OSBORNE, R. J. et alii. Science teaching and children's views of the world. *European Journal of Science Education*, s.1., 5:1-14, 1983.
- PIAGET, J. *Estudos Sociológicos*, Rio de Janeiro, Forense, 1973.
- . *Épistémologie et psychologie de l'identité*. Paris, Presses Universitaires de France, 1968.
- PRETTO, N. D. L. *Os livros de ciências da primeira à quarta série do 1º grau*. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 1983. (Tese, Mestrado).
- ROSS, W. D., Org. *The Method of natural science; de partibus animalium. Aristotle Selections*, New York, Scribners, 1955.
- SHAYER, M. & ADEY, P. *Towards a Science of Science teaching; Cognitive development and curriculum demand*. Londres, Heinemann Educational Books, 1981.
- VIENNOT, L. Analysing student's reasoning in science. *European Journal of Science Education*, s.1., 7:151-162, 1985.