

Do saber fazer ao saber dizer: uma análise do papel da resolução de problemas na aprendizagem conceitual de Física.

From knowing to do to knowing to say: an analysis of the role of problems and of concept learning in the comprehension of physical concepts

*Ileana Maria Greca
Marco Antonio Moreira
Instituto de Física- UFRGS
Caixa Postal 15052- Campus do Vale
91501-970- Porto Alegre, RS.
ileana@if.ufrgs.br
Moreira@if.ufrgs.br*

Resumo:

Neste trabalho propomo-nos retomar a discussão sobre a aprendizagem procedimental e a aprendizagem conceitual, de acordo com a perspectiva da Teoria dos Campos Conceptuais de Vergnaud. Partindo de uma visão integrada de ambas as aprendizagens, argumentaremos a favor de uma postura que considere os problemas tradicionais e os problemas abertos como sendo ambos indispensáveis e complementares para a compreensão de conceitos físicos.

Palavras-chave: resolução de problemas em Física; conceitualização em Física; teoria dos campos conceituais.

Abstract:

In this paper we resume the discussion on procedural learning and concept learning in the light of Vergnaud's conceptual fields theory. From an integrated perspective of both kinds of learning we argue in favor of an instructional posture that would consider both traditional paper-and-pencil problems and open-ended problems as indispensable and complementary to the understanding of physical concepts.

Keywords: physics problems solving; conceptualisation in physics; conceptual fields theory.

Introdução:

Na área do ensino de ciências existe uma separação entre a pesquisa em resolução de problemas e a pesquisa sobre a aprendizagem conceitual. Gangoso (2000) indica que a resolução de problemas como atividade cognitiva é, para muitos autores, indistinguível do próprio pensamento e, neste sentido, supor-se-ia que também indistinguível dos conceitos em relação aos quais se resolvem os problemas. No entanto, as linhas de pesquisa, ou os temas de pesquisa, que se podem identificar na resolução de problemas estão, na prática, exclusivamente orientados para estudar os mecanismos de resolução (seja em relação aos mecanismos específicos para resolver problemas ou às diferenças entre as formas de resolução de novatos e especialistas) ou para o estudo de estratégias didáticas que facilitem a resolução de problemas (Gangoso, 2000; Moreira e Costa, 2000). Poucos são os trabalhos que estudam o domínio dos conceitos relevantes necessários para a resolução e,

quando isso é feito, esses são estudados como fatores relevantes para a tarefa, não como forma intrínseca à própria resolução.

Por outro lado, as linhas mais importantes que se têm estudado em relação à aprendizagem conceitual dizem respeito, basicamente, às concepções dos estudantes sobre conceitos em diferentes áreas ou às dificuldades de aprendizagem de determinados conceitos. Nestas pesquisas, os problemas têm sido tomados, fundamentalmente, como ferramentas para analisar o uso desses conceitos. Pouco tem sido feito no sentido de relacionar estes dois aspectos, tendo-se instituído, de fato, duas correntes paralelas de pesquisa (por ex., ver Gabel, 1994)¹, resolução de problemas e aprendizagem de conceitos.

Reconheça-se também que esta divisão não é exclusiva da área do ensino de ciências, antes foi herdada da pesquisa em Psicologia: estudam-se o *saber fazer* na resolução de problemas e o *saber dizer* na aprendizagem conceitual (Vergnaud, 1983, 1987). No entanto, os esforços realizados para aprimorar o desempenho dos estudantes, na resolução de problemas e na aprendizagem conceitual, não têm sido muito bem sucedidos. Como indica Zylberstajn (1998), embora os problemas com a resolução de problemas sejam conhecidos e pesquisados na área há tempos, pouco se tem conseguido diminuir o fracasso dos estudantes nesta área de investigação. De forma paralela, em relação à aprendizagem conceitual, os êxitos alcançados também não são animadores, levando em conta os pobres resultados da linha mais desenvolvida, nesta perspectiva, que é a da mudança conceitual (Duit, 1999). Portanto, pensar as duas questões de forma integrada, quiçá venha a ser uma alternativa interessante. Há alguns anos atrás, Gil et al. (1999) publicaram um artigo em que se questionavam se fazia sentido continuar a distinguir entre a aprendizagem de conceitos, a resolução de problemas de lápis e papel e a realização de práticas de laboratório. Nesse artigo, a partir de uma perspectiva epistemológica, os autores defendem que para poder proporcionar aos estudantes uma visão correta da pesquisa científica real, em que estes aspectos estão imbricados, eles devem ser tratados de forma integrada, e que a separação existente (na pesquisa em ensino e na prática docente) termina convertendo-se num obstáculo para a aprendizagem de Ciências.

Neste trabalho, partindo de uma fundamentação um tanto diferente à usada por Gil et al. (1999), vamos argumentar a favor da necessidade de encarar, de forma conjunta, ambos processos. Para esta discussão centrar-nos-emos no plano psicológico, ao invés do epistemológico, e tomaremos como referência a teoria dos campos conceptuais de Gérard Vergnaud (1983, 1990, 1998) e um modelo integrado desenvolvido por nós (Greca e Moreira, 2002a). Discutiremos também como, a partir de uma forma conjunta de pensar a resolução de problemas e a aprendizagem conceitual, os problemas exemplares e os problemas abertos podem ser entendidos como espaços de aprendizagem diferentes, ambos necessários e complementares, no ensino de ciências.

A teoria dos campos conceptuais de Vergnaud

Para Vergnaud (1983, 1987, 1990, 1996, 1998; Moreira, 2002) o problema central da cognição é a conceitualização. Opondo-se à separação entre conhecimento procedimental e conhecimento declarativo, ele considera que o fator essencial da dificuldade dos estudantes com a resolução de problemas encontra-se vinculado às "operações do pensamento"

¹ No entanto, recentemente algumas pesquisas têm tentado relacionar ambos aspectos (por ex., Costa e Moreira, 2003; Escudero, Moreira e Caballero, 2003).

(Franchi, 1999) que os estudantes devem fazer para estabelecer relações pertinentes entre os dados do problema. Ou seja, o comportamento dos estudantes na resolução de problemas é guiado por hipóteses, analogias, metáforas, que dependem da conceitualização. Assim, embora na literatura a resolução de problemas seja muitas vezes vista como uma nova combinação de ações e regras a partir do conhecimento que se possui, e a formação de conceitos como a emergência de novas formas de conceitualizar o mundo, novos objetos e novas propriedades desses objetos, estes dois elementos formam parte, para Vergnaud, de uma mesma coisa. Não os considerar desta forma subestima, segundo Vergnaud (1987, p. 1), a parte da representação simbólica e de conceitos presentes na resolução de problemas e a parte da resolução de problemas na formação de conceitos.

Segundo Vergnaud, o conhecimento encontra-se organizado em campos conceituais de que o sujeito se apropria ao longo do tempo e que podem ser definidos como grandes conjuntos, informais e heterogêneos, de situações e problemas cuja análise e tratamento requerem diversas classes de conceitos, procedimentos e representações simbólicas, interrelacionados (Vergnaud, 1990, p. 23). Durante o processo de apreensão desses campos conceituais, os estudantes vão adquirindo, ao longo de vários anos, concepções e competências. De fato, a maior parte de nossos conhecimentos são competências (ou seja, o saber fazer). Em relação ao conhecimento científico, as competências parecem estar mais vinculadas à resolução de problemas e as concepções às expressões verbais ou escritas dos sujeitos (Vergnaud, 1985). Na definição de campo conceitual aparece o conceito de situação. É a partir do confronto com essas situações, e do domínio que progressivamente alcança sobre elas, que o sujeito molda os campos conceituais que constituem seu conhecimento.

Outro conceito fundamental na teoria de Vergnaud é o de esquema. Vergnaud chama esquema à organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações (1990, p. 136). Dos quatro elementos que constituem os esquemas (objetivo do esquema, regras de ação e controle, invariantes operatórios e possibilidades de inferência), somente os invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) são indispensáveis na articulação entre uma situação que o sujeito enfrenta e o esquema que possui para poder resolvê-la. Um teorema-em-ação é uma proposição que se supõe verdadeira sobre a situação e um conceito-em-ação é um objeto, um predicado ou uma categoria de pensamento tida como relevante a ela. Na verdade, teoremas e conceitos em ação se aplicam a classes de situações às quais as situações em pauta pertencem. A percepção, a procura e a seleção de informação baseiam-se, por inteiro, no sistema de conceitos-em-ação disponíveis pelo sujeito e nos teoremas-em-ação subjacentes à sua conduta. Ou seja, os conceitos-em-ação que possuímos permitem-nos identificar elementos conhecidos nas situações que enfrentamos e os teoremas-em-ação fornecem-nos as regras que vinculam esses elementos e que nos permitem resolver uma dada situação e agir em consequência.

Este conhecimento para a ação permanece em geral totalmente implícito, pois orienta-se para o desenvolvimento de competências, para o saber fazer, que constitui, como já indicamos, a maior parte do repertório do nosso conhecimento, em vez do desenvolvimento de conceitualizações. Por isso os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação não são nem verdadeiros conceitos nem verdadeiros teoremas pois, na ciência, conceitos e teoremas são explícitos e podem-se discutir suas pertinência e veracidade, o

que não é necessariamente o caso dos invariantes operatórios (Vergnaud, 1990, p. 144). Ou seja, nosso conhecimento-em-ação permite-nos agir frente a uma dada situação, independentemente de ser verdadeiro ou apropriado segundo algum critério científico. Por exemplo, quando movemos a antena da nossa televisão para “sintonizar” melhor, dificilmente o fazemos baseados em um conhecimento sobre o eletromagnetismo; “sabemos” que dessa forma conseguimos muitas vezes estabilizar a imagem, sendo muito difícil que consigamos explicar, do ponto de vista científico ou técnico, a razão pela qual, fazendo-o, conseguimos esse resultado. No entanto, esse saber fazer é fundamental para depois dar “sentido” às leis do eletromagnetismo. Por isso, Vergnaud (ibid.) compara os conhecimentos explícitos com a ponta de um *iceberg* da conceitualização: sem a parte oculta dos invariantes operatórios esta nada seria. É claro que podemos explicitar conhecimentos, expressar conceitos ou teoremas que não sejam apropriados, mas, ao fazê-lo, estamos, de alguma forma, submetendo-os ao controle da sua veracidade. Assim, a partir do conhecimento explícito, demonstrado no uso de proposições e conceitos, podemos inferir os invariantes operatórios integrados aos esquemas. Contudo, o sujeito, muitas vezes, tem dificuldade ou, até mesmo, impossibilidade de saber dizer o seu saber fazer.

Esta impossibilidade de explicitar o conhecimento-em-ação é muito clara nos comportamentos dos estudantes. Em geral, os alunos não são capazes de explicar ou mesmo expressar em linguagem natural, os teoremas e conceitos-em-ação que eles utilizam para resolver os problemas, para a identificação dos elementos pertinentes e para o estabelecimento das seqüências de cálculos que devem ser efetuados. Este conhecimento permanece implícito e, desta forma, resulta difícil de ser modificado. Por isso, um dos objetivos do ensino seria proporcionar aos estudantes ferramentas para a construção de conceitos e teoremas explícitos e gerais. Ou, de outra forma: *“palavras e símbolos, sentenças e expressões simbólicas, instrumentos cognitivos indispensáveis para a transformação dos invariantes operatórios implícitos em teoremas e conceitos”* (Vergnaud, 1990, p. 21). No entanto, esta transformação de invariantes operatórios em palavras e textos ou em qualquer outro sistema semiótico (gráficos, diagramas, notação algébrica,...) não é direta, nem simples; existem importantes lacunas entre aquilo que é representado na mente do indivíduo e o significado usual dos signos. Como se sabe, é provável que, inicialmente, os estudantes associem a determinadas expressões lingüísticas ou gráficas significados diferentes dos que são aceitos no contexto da matéria de ensino (significados decorrentes de seu conhecimento-em-ação). Se esse processo ocorrer em diferentes situações, o ter que explicitar o seu conhecimento permite refinar os significados utilizados.

Por outro lado, esta relação entre conhecimento implícito-explicito não é vista, nessa teoria, como uma relação dicotômica: o conhecimento implícito serve de sustentação e dá sentido ao conhecimento explícito. Esta não é uma postura usual na Psicologia Cognitiva. Pozo (2002) indica que a dupla conhecimento implícito-conhecimento explícito forma parte dos debates dicotômicos que se têm estabelecido na Psicologia Cognitiva. Assim, o conhecimento não científico, por exemplo, a chamada “física intuitiva”, seria basicamente um conhecimento implícito, difuso e encarnado, enquanto que o conhecimento científico seria fundamentalmente um conhecimento explícito e formalizado. Para Pozo (ibid.) conseguir que os estudantes aprendam ciências deveria envolver basicamente uma mudança representacional, que os leve a trabalhar, fundamentalmente, com representações explícitas cientificamente compartilhadas.

De fato, o conhecimento científico é um conhecimento explícito, deliberado, sobre o qual se age. Porém, o processo de compreensão desse conhecimento, assim como o de manipulação do mesmo, tem muitas componentes implícitas. O conhecimento implícito não só constitui o ponto de partida para a nossa construção do conhecimento científico, como se mantém, original e não correto do ponto de vista científico, quando se adquire conhecimento científico especializado em um dado domínio. Além disso, o próprio conhecimento explícito, cientificamente apropriado, tem componentes implícitas. Nem todo conhecimento implícito é não apropriado, mas é indispensável para o desenvolvimento do conhecimento explícito; o conhecimento implícito vai-se modificando e/ou novos conhecimentos implícitos vão ser aprendidos (possivelmente não de um modo racional e sistemático) até se alcançar a “propriedade” necessária para a emergência de um conhecimento explícito apropriado².

O processo de aquisição das competências necessárias para fazer Física — por exemplo, no processo de aprendizagem da montagem de uma experiência, ou no processo de aprendizagem da resolução de equações diferenciais — é basicamente um processo implícito; aprendemos a fazê-lo, embora muitas vezes não saibamos dizer o que estamos a fazer. Tomemos por exemplo o caso do conceito de interação. Segundo os resultados de diferentes pesquisas, pareceria que a idéia de interação não é compreendida “explicitamente”, embora seja fundamental para resolver situações físicas. Sabemos aplicar os modelos e resolvemos situações nas quais este conceito é central; porém dificilmente explicitamos o conceito de interação. Aprendemo-lo de forma implícita. Isto pode observar-se na forma como os professores ensinam Mecânica. Eles aplicam o conceito de interação na resolução dos problemas, mas dificilmente o transmitem de forma explícita aos seus estudantes (Stipich e Moreira, 2002). Os professores aprenderam implicitamente a usá-lo, sabem resolver situações onde o utilizam de forma implícita e não têm necessidade de explicitá-lo³.

Para a teoria dos campos conceptuais, os verdadeiros conceitos são basicamente relacionais e referem-se a um conjunto de situações, invariantes operatórios e suas propriedades, que podem ser expressas por diferentes representações lingüísticas e outras representações simbólicas (Vergnaud, 1998, p. 177). Assim, os conceitos podem ser definidos como um triplete de conjuntos (Vergnaud, 1990, p. 145; 1997, p. 6), $C = (S, R, I)$, onde S é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito, I é um conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito que permitem ao sujeito analisar e dominar as situações do primeiro conjunto e R é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc), que servem para representar de forma explícita os invariantes operatórios. O primeiro desses conjuntos é o referente do conceito, o segundo o significado e o terceiro o significante.

Segundo Vergnaud, é através das situações e dos problemas que, paulatinamente, um conceito vai adquirindo sentido para o sujeito, pois é a partir dessas situações e

² Esta idéia, aliás, aparece claramente em alguns filósofos da ciência. Polanyi, filósofo das matemáticas, expressa que as premissas da ciência, sejam procedimentos ou crenças, são observadas “tácitamente” (implicitamente na linguagem que aqui utilizamos) na prática científica: “Como em qualquer habilidade – nadar, andar de bicicleta, etc. – as premissas das mesmas não podem ser “descobertas” ou mesmo “compreendidas” sem que tenhamos praticado tais habilidades. Tais premissas só podem ser explicitadas a posteriori” (Polanyi, 1973, p. 162, apud. Abrantes, 1998). Também em Kuhn, para quem “a natureza e as palavras (definições e regras explícitas) são aprendidas conjuntamente” (Kuhn, 1970, p. 191).

³ O que não sabemos é se este conceito, por exemplo, passou a ser explícito no processo de aprendizagem para logo voltar a ser implícito.

problemas que o sujeito vai abstraindo as propriedades que conformarão seus conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que darão significado ao conceito. Na medida em que esses invariantes operatórios podem ser expressos em forma explícita, por meio de seus significantes, esses invariantes passam a conformar os verdadeiros conceitos.

Cabe ressaltar que embora a resolução de problemas ou situações seja essencial para a conceitualização *“um problema não é um problema para um indivíduo a menos que ele tenha os conceitos que o tornem capaz de considerá-lo um problema para si mesmo”* (Vergnaud, 1994, p. 42), fazendo com que a resolução de problemas e a conceitualização seja uma relação dialética e cíclica (Moreira, 2002) como destacaremos na seção seguinte. Aqui é onde o professor tem, para Vergnaud, o papel central de mediador, de provedor dessas situações problemáticas frutíferas, que estimulam a interação do sujeito com as situações, possibilitando-lhe desta forma a ampliação e diversificação dos esquemas de ação do sujeito (Moreira, *ibid.*).

Resolução de problemas e conceitualização: uma visão integrada

Como se pode observar a partir desta teoria psicológica, a aprendizagem conceitual e a resolução de problemas estão intrinsecamente ligadas uma com a outra. Quando os estudantes operam com determinados conceitos, por exemplo, quando sabem calcular o campo magnético gerado por uma espira condutora, muitas vezes o que utilizam são somente invariantes operatórios. Sabem que elementos considerar, que propriedades aplicar (por exemplo, que integrais, que propriedades geométricas, etc.), muitas vezes não sabendo explicitar porque o fazem (o que se observa quando se lhes pergunta especificamente sobre isso e não conseguem expressar-se). Ou seja, os conceitos necessários para resolver essas situações são instrumentos da ação do sujeito. Em outras palavras, o sujeito está usando apenas a parte operacional dos significados do conceito. Mas o significado não é só isso, nem o conceito é só significado. Existe aí um “operacionalismo” ou “operativismo” que pode, inclusive, ser indicador de uma aprendizagem mecânica.

No entanto, saber dizer o que está fazendo, explicar qualitativamente o problema ou expressar o conceito de campo, que tanto trabalho custa aos estudantes, leva a efetuar uma passagem do conceito como instrumento ao conceito como objeto de pensamento. *“Não requer o mesmo nível de conceitualização saber calcular a velocidade dividindo um espaço por um tempo, expressar em forma lingüística a idéia de que a velocidade é proporcional à distância quando a duração se mantém constante, ou que a distância é uma função bilinear da duração e da velocidade e expressar esta idéia por uma fórmula”* (Vergnaud, 1996b, p.204).

Quando um conceito passa a ser um instrumento de pensamento, ele “liberta-se” das amarras das situações e pode ser aplicado em contextos mais amplos. Segundo Vergnaud (1996, p. 13), na instrução dá-se continuamente essa relação dialética entre o desenvolvimento da forma operatória do conhecimento e da forma predicativa desse conhecimento, ou seja, saber explicitar os objetos, os conceitos e suas propriedades.

A teoria de Vergnaud permite, em princípio, compreender alguns comportamentos dos estudantes no processo de aquisição e domínio de um campo conceitual. Por outra parte, os resultados das pesquisas em modelos mentais, e em particular nossos próprios resultados (Greca e Moreira, 2002b), levam-nos a acreditar que também a idéia de modelo mental deveria ser considerada para a compreensão dos processos de aprendizagem. Por

isso, tentamos articular ambos os referenciais. Assim, temos proposto (Greca e Moreira, 2002a) que, enquanto os esquemas se mantêm como estruturas na memória de longo prazo com teoremas e conceitos em ação (que contêm informação de propriedades do mundo físico e de relações matemáticas), no momento de enfrentar uma situação nova, os sujeitos geram representações na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão, para a resolução da tarefa.

Ou seja, partimos da idéia de considerar os modelos mentais como representações mediadoras entre a nova situação e o conhecimento que o sujeito possui. Os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação guiam o processo de construção dos modelos mentais, na medida em que determinam os elementos da situação que resultam relevantes para o sujeito (ou seja, os elementos da situação que devem ser representados) e as propriedades que sobre eles podem ser aplicadas. Veja-se que o modelo mental pode resultar de invariantes operatórios de diferentes esquemas usados pelo sujeito para a compreensão de uma situação nova e sua ação sobre ela. Os teoremas-em-ação, na nossa proposta, determinam as relações fundamentais estabelecidas no momento da “rodagem” dos modelos mentais. Na linguagem computacional, esses teoremas-em-ação corresponder-se-iam com as sentenças ou comandos que em uma simulação guiam sua “rodada”. Uma vez que os modelos mentais são gerados, manipulados e “rodados”, eles fornecem as regras de ação e controle que determinam as seqüências de ações do sujeito. Ou seja, os modelos mentais resultam no espaço em que os invariantes operatórios dos indivíduos manipulam as representações da realidade com o objetivo de agir sobre ela. Mas estas representações mediadoras somente aparecem frente a situações novas, desconhecidas, cuja conduta não está automatizada e que requerem inferências novas e a formação de modelos mentais; e também em situações já conhecidas que requeiram a elaboração de inferências novas e, portanto, a elaboração de novas regras de ação. As situações já conhecidas pelo sujeito, que exigem dele uma ação automatizada (algorítmica), não demandando do sujeito novas inferências, não requerem a formação de modelos mentais. Diretamente é possível aplicar as regras “se...então” que estão armazenadas nos esquemas do sujeito.

A relação entre os modelos mentais e os esquemas é uma relação dialética. Por uma parte, a leitura da realidade a partir do conhecimento-em-ação do sujeito determina os modelos mentais, mas o processo de “comparação” entre os resultados desses modelos (explicações, predições) e a solução, o resultado efetivo da situação em si, pode levar a modificações nos invariantes operatórios do sujeito, devido a inconsistências entre o modelo mental e a situação, ou à procura de coerência entre seu pensamento e os dados do mundo exterior. Quer dizer, quando um sujeito enfrenta uma situação nova, a discordância entre as inferências decorrentes do modelo mental que constrói a partir dos invariantes operatórios existentes em seus esquemas e da informação por ele percebida da situação em si, pode levá-lo à modificação dos modelos. A detecção de invariantes nesses modelos mentais pode levar à construção de novos esquemas, mais apropriados, para a resolução de classes de situações que, então, já não serão novas. Este seria um dos processos de mudança do conhecimento implícito. Por exemplo, suponhamos que o aluno enfrenta uma situação em que lhe é perguntado se um corpo em movimento se deterá em algum momento. Como resultante dos modelos mentais⁴ que ele gera, construídos a partir de seu conhecimento-

⁴ Na verdade, o sujeito gera um modelo mental e recursivamente o modifica até atingir a funcionalidade que o satisfaça; nesse sentido pode-se falar em modelos mentais.

em-ação e da percepção, o estudante pode dizer que sim, que chegará um ponto no qual o corpo pára. No entanto, quando o professor lhe indicar que essa resposta está errada, pois sobre o corpo não está atuando força alguma, o aluno poderá modificar seu modelo, para conseguir chegar à resposta certa. Isto não quer dizer que automaticamente mude seus invariantes operatórios, pois esse processo pode ser muito lento. Possivelmente, o aluno deve enfrentar muitas outras situações semelhantes até que consiga incorporar, em seus novos esquemas, o conhecimento decorrente do princípio de inércia⁵. A prova destas dificuldades encontra-se em toda a literatura sobre concepções alternativas, em que os sujeitos, embora obtendo aprovação, sucessivamente, em disciplinas com conteúdos de Física, continuam cometendo os mesmos erros.

Em resumo, embora os modelos mentais possam ser modificados de forma relativamente fácil, tendendo a eliminar as diferenças entre suas previsões e os acontecimentos do mundo para uma dada situação, em determinado contexto, isso não é um processo que automaticamente modifique os conceitos e teoremas-em-ação dos sujeitos, aplicáveis a toda uma gama de situações. Dependendo da estabilidade desses conhecimentos-em-ação, eles poderão ser mudados de forma mais ou menos rápida. De fato, resultados obtidos com estratégias de mudança conceitual (por exemplo, ver Tao e Gunstone, 1999,) mostram que uma mudança independente de contexto, é sumamente difícil. Os estudantes parecem conseguir, com certa facilidade, mudar seus modelos mentais contextuais, porém não conseguem modificar seus esquemas, de forma a aplicá-los a outras classes de situações. Novamente, podemos observar aqui como estão intrinsecamente ligadas a resolução de situações e a aprendizagem conceitual: o aluno pode até saber de cor o princípio de inércia, porém sem saber aplicá-lo; para o entender precisa enfrentar diversas situações onde possa reconhecê-lo para, sucessivamente, conseguir dar sentido a esse princípio físico. Assim, a partir dessas situações irá aprender a aplicá-lo para depois conseguir explicitá-lo, e poder-se dizer, então, que o estudante aprendeu significativamente o tal princípio para seu nível de instrução.

Outro exemplo da necessidade de uma visão integrada da resolução de problemas e da aprendizagem conceitual é dado pela modelização científica. A questão do ensino baseado em modelos é hoje uma estratégia muito discutida na área de ensino de Ciências e, em particular, no ensino de Física (e.g., Neressian, 1995; Devi et al., 1996; Sutton, 1996; Greca e Moreira, 2002b; Justi e Gilbert, 2002). De acordo com a perspectiva aqui apresentada, a aprendizagem de modelos físicos e matemáticos poderia ser entendida da seguinte forma. Um determinado modelo físico é útil para resolver uma certa classe de situações a que se refere. Se a classe de situações que, do ponto de vista científico, seria resolvida com a utilização desse modelo físico, é apresentada aos estudantes em uma seqüência que lhes permita “extrair” os invariantes que fazem com que a explicação deles decorra desse modelo físico, os teoremas e conceitos-em-ação que os estudantes “abstraíssem” dessas situações poderiam corresponder-se com as propriedades do modelo em questão. Para que o estudante aprenda um determinado modelo, não basta então que este lhe seja apresentado de forma clara, organizada e rigorosa—o que Vergnaud (1983) identifica como “ilusão pedagógica”. Antes, deveria ser-lhe proposta uma série de situações

⁵ Aliás, em particular com o conceito de inércia, as diferenças entre as previsões e os acontecimentos do mundo reforçam o conhecimento alternativo dos estudantes. Por isso, para conceitos deste tipo, o aluno deverá enfrentar muitas mais situações para poder construir os invariantes operatórios apropriados.

que permitissem que ele percebesse os conceitos, relações e propriedades dos modelos físicos e “extraísse” a partir delas os correspondentes invariantes operatórios. No mesmo sentido vai a aprendizagem dos modelos matemáticos.

No entanto, deve levar-se em conta que os modelos físicos, que servem para explicar os fenômenos físicos e cuja compreensão é um dos objetivos do ensino de Física, são simplificações extremas da realidade à luz dos princípios de uma dada teoria. Poder detectar invariantes nas situações a que eles se aplicam é um processo muito complexo. O repertório de esquemas que o estudante possui, e que é a base para a construção dos modelos mentais iniciais, é derivado da sua interação sobre o mundo desde o nascimento e, portanto, muito rico. Isso pode fazer com que, para eles, cada situação explicada a partir de determinado modelo físico seja uma situação diferente e, assim, aplique, a situações idênticas, esquemas diferentes. Isto, aliás, é um dos resultados da pesquisa em resolução de problemas (Costa e Moreira, 2001).

Como poder detectar regularidades nas situações ou regularidades nas inconsistências entre seus modelos mentais e o mundo, se cada caso é um caso? Quanto mais perto da vida quotidiana forem as situações apresentadas aos estudantes, mais esquemas e hábitos eles devem ter para tais situações, sendo nestes casos muito difícil conseguir que cheguem a formar um conceito científico. Vemos, outra vez, como aparecem novamente imbricados em um processo dialético, a resolução de problemas e o processo de formação dos conceitos. Não há formação de verdadeiros conceitos, de explicitação, sem que apareçam situações que o estudante deva resolver e não há resolução de problemas sem que se coloquem em jogo os invariantes operatórios (que são a parte oculta do *iceberg* da conceitualização) e as representações simbólicas que, junto com as situações em si, formam a tríade necessária para a formação de conceitos.

É interessante notar as diferenças desta abordagem com algumas das clássicas em resolução de problemas. Para Polya (1975), por exemplo, que é um importante representante da linha das estratégias gerais para a resolução de problemas, a questão está centrada na aquisição de tais estratégias que, uma vez aprendidas, podem ser aplicadas com poucas modificações à resolução de qualquer problema. Polya distingue 4 fases (compreensão do problema, concepção de um plano, execução do plano e visão retrospectiva) que deveriam ser ensinadas aos estudantes, independentemente da área de estudo específica. Estas fases deviam ser abordadas a partir de matérias mais formais, sendo assim um conteúdo escolar generalizável (Echeverria e Pozo, 1994). No entanto, a partir da perspectiva que aqui adotamos, essas estratégias, ou suas fases, dependem do conhecimento-em-ação de que o sujeito disponha. A maioria dos professores sabe, por experiência própria, que por mais que insistam para que os estudantes determinem as variáveis relevantes ou desenhem os elementos fundamentais para solucionar um problema, eles parecem não se dar conta do que tem que ser feito. Segundo a perspectiva dos campos conceituais o que acontece é que eles não são capazes de identificar esses elementos, pois não possuem o conhecimento-em-ação necessário para fazê-lo.

O mesmo acontece quando se lhes pede para conferir o resultado do problema: se eles não construíram modelos mentais para predizer qual é o resultado esperado, serão incapazes de conferir se o valor a que chegaram é coerente ou não. Além disso, para alguns, os resultados conferidos podem parecer coerentes com os modelos mentais por eles gerados, embora sejam pouco prováveis ou incorretos para os professores. Ou seja, a linha

de pesquisa das estratégias gerais, aqui exemplificada com Polya, deixa de lado a parte da conceitualização que envolve, necessariamente, a resolução de problemas.

Em contraposição às estratégias gerais, a linha de pesquisa dos especialistas e novatos leva em consideração o conhecimento que se possui para a resolução de problemas. Nesta linha, considera-se que as estratégias utilizadas pelos especialistas, frente à resolução de problemas, são muito diferentes das usadas pelos novatos na medida que os conhecimentos prévios, disponíveis nos primeiros, lhes permitem reconhecer as características essenciais dos problemas e aplicar procedimentos rotineiros de solução, o que é feito de forma rápida. Por sua vez, os novatos passam muito tempo a tentar, de uma ou outra maneira, achar o algoritmo adequado de resolução. Ou seja, para os especialistas as situações propostas não constituem verdadeiros problemas, pois são situações nas quais eles podem reconhecer situações passadas. Como se comportariam se se lhes apresentassem situações não conhecidas? O que esta linha de pesquisa diz é que o conhecimento prévio é útil, mas não agrega muito em relação a como chegar a construir esse conhecimento. Ou seja, como se formam os especialistas? De fato, o objetivo desta linha é o de estabelecer as características de uma boa resolução e poder extrair dali recomendações que possam ser ensinadas aos estudantes, para uma resolução eficiente dos problemas (Gil et al, 1988).

No fundo ambas as linhas de pesquisa têm objetivos semelhantes. Porém, a partir da perspectiva de Vergnaud, é pouco provável que produza efeito ensinar estratégias ou recomendações gerais, porque a resolução aprende-se frente a situações específicas que devem ser solucionadas. Pode até acontecer que, depois, o aluno seja capaz de generalizar; contudo, não possuindo o conhecimento-em-ação necessário, tais estratégias caem no vácuo.

Havendo apresentado o marco teórico, discutiremos agora, brevemente, as características dos problemas tradicionais e dos problemas abertos e porque consideramos que ambos são necessários para o processo de conceitualização.

Problemas tradicionais e problemas abertos: estratégias complementares para o processo de conceitualização.

Vamos a adotar aqui a definição de problema tradicional que Zylbersztajn adota (1998): os problemas que os livros de texto chamam de problemas de final de capítulo e que são conhecidos na literatura como problemas de lápis e papel. Estes problemas são os que, tradicionalmente, os professores utilizam nas provas e, portanto, estabelecem o principal critério de aprovação da disciplina. Este tipo de problemas tem sido bastante atacado nos últimos anos, atribuindo-se-lhes parte do fracasso da aprendizagem em Física. Considera-se que estes problemas induzem a uma aprendizagem repetitiva e memorística, que enfatiza a mera aplicação de fórmulas e que em nada contribui para que os estudantes consigam aprender os conceitos científicos.

No entanto, Zylbersztajn (1998) defende os problemas tradicionais a partir de uma perspectiva epistemológica. Baseado na epistemologia de Thomas Kuhn, para quem ao aderir a um paradigma o cientista adquire ao mesmo tempo uma teoria, métodos e padrões científicos, Zylbersztajn considera que os problemas tradicionais são fundamentais para a formação dos futuros membros de uma comunidade. Pare ele, estes problemas apresentados nos livros desde o começo, com as soluções concretas que a profissão aceita como paradigmáticas, permite aos estudantes adquirir o tipo de *insight* aceito por essa

mesma comunidade, para certas classes de situações. *“Ao resolver os problemas exemplares, ou seja, paradigmáticos, eles aprendem a aplicar versões apropriadas das leis físicas (generalizações simbólicas) a contextos específicos, um processo através do qual novos problemas passam a ser encarados como casos análogos àqueles encontrados previamente. Esta habilidade de perceber uma variedade de situações sob uma mesma “gestalt”, é o que de mais importante um aluno adquire ao trabalhar os problemas exemplares já que, desta forma, a sua percepção (bem como seu discurso e suas ações) vai sendo moldada segundo a maneira de ver que é peculiar a uma comunidade científica”* (Zylbersztajn, *ibid.*, p. 10)⁶.

Do nosso ponto de vista, consideramos que os chamados problemas tradicionais têm também um papel fundamental para o processo de conceitualização. Ao enfrentar-se com diferentes situações presentes nesses problemas os estudantes vão adquirindo, i. é., “extraíndo” implicitamente, os invariantes operatórios necessários e indispensáveis para o processo de conceitualização, ou seja para o processo de apropriação dos conceitos das teorias científicas. Neste sentido, os problemas-tipo moldam a percepção na medida em que são os que fornecem os elementos para a formação dos invariantes operatórios, permitindo construir a parte “oculta” do *iceberg*. Estes invariantes tornar-se-ão elementos determinantes da percepção, na medida que, a partir deles, as diferentes situações serão visualizadas como semelhantes ou não.

Lembremos que são as situações que dão sentido ao conceito. Tais situações são situações-problema e constituem o referente do conceito; para dar conta deles o sujeito constrói invariantes operatórios que dão significado ao conceito. Ora, esses significados podem ser cientificamente aceitos ou não, o processo é o mesmo. Contudo, se as situações são o que estamos aqui chamando de problemas exemplares cremos que será maior a probabilidade de que os invariantes operatórios construídos pelo sujeito sejam aqueles, cientificamente aceitos, que o professor pretende que ele construa no processo ensino-aprendizagem. Para Vergnaud, a principal tarefa mediadora do professor nesse processo é a de prover situações, cuidadosamente escolhidas, para ajudar o aluno na conceitualização. Assim sendo, parece-nos que os problemas clássicos de fim de capítulo têm lugar garantido, e importante, na construção de conceitos científicos pelo aluno, mediada pelo professor.

Claro que, como já apontamos, este processo não é simples. De acordo com a sua postura epistemológica, Zylbersztajn também argumenta que *“a partir de uma perspectiva kuhiana se pode argumentar que é ilusório esperar que os alunos aprendam perfeitamente a teoria antes, para depois a aplicar aos problemas. Estamos tratando de um processo concomitante e interdependente: ao mesmo tempo em que a teoria é necessária para resolver problemas, ela é também refinada e aprofundada através da resolução de problemas, e o mesmo pode ser dito com relação aos procedimentos matemáticos”* (Zylbersztajn, *ibid.*, p. 11). Aponta também que para isto é necessário integrar, à resolução de problemas, os resultados de outras áreas de pesquisa, em particular as dedicadas à conceitualização. Zylbersztajn (*ibid.*, p. 13) sugere que a capacidade de resolver problemas pode ser melhorada se houver a preocupação em tornar a prática de modelar a resolução de problemas em exemplares mais visível, ensinando-se aos alunos as soluções

⁶ Cabe lembrar que, para Kuhn, a resolução de quebra-cabeças na atividade normal do cientista é guiada por relações de similaridade: o cientista deve aprender a estender a perícia adquirida na resolução dos problemas exemplares a novos problemas considerados análogos. Como indica Abrantes (1998, p. 63), a similaridade ou analogia entre exemplares e novos problemas é, para Kuhn, de algum modo “descoberta” pelo estudante.

paradigmáticas e a lógica das suas possíveis variações, ao invés de esperar que isto seja tacitamente aprendido. Ou seja, na linguagem que temos utilizado, no referencial teórico, auxiliando aos estudantes a inferir os invariantes operatórios cientificamente aceitos.

Em oposição a esta perspectiva, ou seja a da utilidade dos problemas tradicionais para a aprendizagem dos conceitos físicos, Gil Pérez et al. (1988, 1992) consideram que: quase toda a pesquisa em resolução de problemas parte de um pressuposto errado, qual seja, o de considerar como ponto de partida os problemas tradicionais. Estes problemas, segundo eles, levam a um tipo de resolução cujas características principais são a ausência de uma reflexão qualitativa prévia e um tratamento superficial que não se preocupam com a clarificação dos conceitos. Desde uma perspectiva bachelardiana, definem como problema as situações que colocam dificuldades e para as quais não se possui soluções feitas (Gil et al., 1988), incentivando assim uma atividade investigativa por parte do solucionador. Gil et al. opõem-se assim aos problemas-tipo, pois avaliam que estes problemas tendem a fixar nos estudantes estratégias de resolução que não lhes permitem considerar a resolução de problemas como uma atividade investigativa. Parte do problema residiria nos enunciados habituais que incluem dados. Estes, respondendo a concepções indutivistas e orientando à resolução para a manipulação de determinadas grandezas, para um formulismo vazio, impedem uma reflexão qualitativa e a posterior emissão de hipóteses.

Os problemas propostos por estes autores, os chamados problemas abertos, tentam impossibilitar este operativismo, atacando suas causas, que consideram ser a inclusão de dados. Junto com estes problemas abertos, eles propõem um modelo de resolução de problemas baseada na investigação que permita ao solucionador, a partir do conhecimento que possui, a emissão de hipóteses e a elaboração de caminhos de resolução, possibilitando-lhe, posteriormente, contrastar as hipóteses à luz da situação proposta. Estes problemas abertos, na verdade, resultam em estratégias de modelização (Hestenes, 1987).

De acordo com esta perspectiva, ou seja, os problemas abertos como estratégias de modelização, e no nosso referencial teórico, tais problemas podem ser entendidos como um dos possíveis mecanismos de explicitação dos conceitos e teoremas-em-ação, estágio indispensável para a aquisição dos verdadeiros enunciados e conceitos científicos. Para modelizar uma situação, os estudantes devem escolher as entidades que formarão parte do modelo e estabelecer as relações entre elas, que servirão de base para as equações que o descrevem. Nesse processo devem, necessariamente, explicitar os conceitos e teoremas-em-ação que possuem, pois somente assim pode ocorrer a negociação de significados que leva ao compartilhar significados que caracteriza a aprendizagem significativa (no caso, de conceitos e enunciados científicos). O processo de explicitação seria, então, em alguma medida posterior ao da criação dos invariantes operatórios, que seriam adquiridos primeiramente a partir dos problemas tradicionais. Ou seja, os problemas abertos constituiriam um segundo estágio na formação dos conceitos: uma vez que os estudantes conseguissem construir invariantes operatórios seria necessário que conseguissem também explicitá-los para que se pudesse poder ver em que medida esses invariantes são corretos do ponto de vista aceito pela comunidade científica.

Pelas considerações antes apontadas, parece-nos que as duas estratégias (os problemas tradicionais e os abertos) podem e devem complementar-se no ensino da Física em tempos diferentes, pois seus objetivos são distintos. Enquanto na primeira, as situações, dos problemas tradicionais, estariam direcionadas à aprendizagem procedimental e à detecção dos invariantes por parte dos estudantes e, nesse sentido, essenciais no processo

de significação pois são a parte “oculta” da conceitualização, na segunda, dos problemas abertos, na verdade, seriam necessários aos processos de explicitação, que possibilitam o refinamento e a aquisição dos verdadeiros conceitos, relacionando-se então mais de perto com a aprendizagem conceitual⁷. Mas, como temos já repetido várias vezes, sem a parte “oculta”, sem que o estudante possua certos invariantes operatórios, é impossível que ele consiga adquirir os verdadeiros conceitos, no sentido de Vergnaud, pois estes são resultantes da tríade situações-invariantes-representações. O “saber fazer” proporcionado pelos problemas tradicionais, em suma, possibilita o “saber dizer” (ou seja, os conceitos como objeto de pensamento) que desejamos que os nossos estudantes adquiram em relação aos conceitos físicos.

Por outro lado, quando falamos em estratégias complementares em tempos diferentes não queremos dizer, necessariamente, “primeiro uma depois a outra” no sentido de, inicialmente, propor muitos problemas exemplares e depois, então, vários problemas abertos. Como já foi dito, no ensino voltado para a conceitualização a principal tarefa do professor é a de cuidadosamente selecionar e propor aos alunos as situações problemáticas que darão sentido ao conceito. Nessa perspectiva, há espaço (e necessidade!) para os dois tipos de situações (típicas, exemplares, e abertas), porém quando usar uma e outra certamente não implica uma seqüência temporal rígida. É a situação didática, o nível de conceitualização já atingido, a percepção do professor, a predisposição do aluno, que vão dar pistas para isso. O importante é que os dois tipos de problemas são essenciais para a conceitualização em Física.

Conclusão

Neste trabalho argumentamos, desde uma visão psicológica, a necessidade de superar, nas pesquisas em ensino de Física, a separação entre a aprendizagem conceitual e a resolução de problemas. Por outro lado, o referencial teórico utilizado também nos levou a considerar que a diferenciação entre conhecimento implícito e explícito não deveria ser vista como uma dicotomia, antes como um contínuo, em que ambos os tipos de conhecimentos estão intimamente interrelacionados. Por último, destas considerações emerge a necessidade de considerar os problemas tradicionais e os problemas abertos não como metodologias opostas e enfrentadas, como têm sido consideradas muitas vezes na literatura, senão como necessárias, complementares e igualmente válidas no ensino de Física.

Concordamos com o argumento que a resolução mecânica de problemas de papel e lápis, de fim de capítulo, ou exemplares, só pode levar a uma aprendizagem mecânica. Mas discordamos do argumento que os problemas abertos necessariamente levem à conceitualização científica. cremos ter argumentado suficientemente em favor do uso das duas estratégias como igualmente importantes para a aquisição (construção) de conceitos físicos, desde que bem utilizadas nas situações de ensino.

Consideramos que, desta forma integrada, poderemos não só estudar melhor os processos de compreensão da aprendizagem científica de conceitos e proposições, por parte dos estudantes, como também desenhar estratégias de ensino mais apropriadas, as

⁷ A aprendizagem conceitual inclui a procedimental. Se, de verdade, queremos que os estudantes compreendam os procedimentos científicos eles devem ser capazes de expressar o que estão fazendo; no sentido que aqui temos trabalhado. Esse saber dizer o que se está fazendo é também uma aprendizagem conceitual.

quais, esperamos, venham a ser melhor sucedidas quando utilizadas no processo de facilitação do ensino-aprendizagem em Física.

Referências

- ABRANTES, P. (1998). Kuhn e a noção de “exemplar”. *Principia*, 2(1), pp. 61-102.
- COSTA, S.S.C. e MOREIRA, M. A.(2001) A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18 (3), pp. 263-277.
- COSTA, S.S.C. e MOREIRA, M. A.(2003) Identificação dos conhecimentos em ação para a aprendizagem em Física. *Atas do IV Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências*. ABRAPEC, Bauru, SP.
- DEVI R., TIBERGHIE A., BAKER, M. e BRNA P. (1996) Modelling students' construction of energy models in physics. *Instructional Sciences*, 24, pp. 259-293.
- DUIT, R. (1999) Conceptual change. Approaches in science education. In: W. Schnotz; S. Vosniadou and M. Carretero (Eds.) *New perspectives on conceptual change*. Oxford: Elsevier.
- ECHEVERRÍA, M.P.P. e POZO, J.I. (1994). Aprender a resolver problemas y resolver problemas para aprender. In POZO, J.I.(ed.) *La solución de problemas*. Madrid: Santillana.
- ESCUADERO, C., MOREIRA, M. A. e CABALLERO, M. C. (2003) Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de física introductoria en secundaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3). Artículo 1 en <http://www.saum.uvigo.es/reec/citas.htm>
- FRANCHI, A. (1999). Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In Alcântara Machado, S.D. et al. (1999). *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo. EDUC. pp. 155-195.
- GABEL,D.L (ed). (1994) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Nova York: MacMillan Pub. Co.
- GANGOSO, Z. (2000). Investigaciones en resolución de problemas en ciencias. In: Moreira, M. A., Caballero, C.S e Meneses, J. V. (Eds). *Actas de la I Escuela de Verano sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias*. Burgos: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos, pp.83-133.
- GIL PEREZ, D., MARTINEZ TORREGROSA, e J. SENENT PEREZ, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos presupuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(20), pp. 131-146.

GIL PEREZ, D., TORREGROSA, J.M., RAMÍREZ, L., CARRÉE, A.D., GOFARD, M., e CARVALHO, A.M.P. (1992). Questionando a didática de resolução de problemas: elaboração de um modelo alternativo. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 9(1), pp. 7-19.

GIL PEREZ, D., FURIÓ MÁZ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., GUIASOLA, J., GONZALEZ, E., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. e PESSOA DE CARVALHO, A.M.P.(1999). Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 311-320.

GRECA I. e MOREIRA M. (2002a). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1). <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>

GRECA I. e MOREIRA M. (2002b) Mental models, physical models and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education.*, 86, pp. 106-121

HESTENES, D. (1987) Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55 (5), pp. 440-454

JUSTI, R. e GILBERT, J. (2002) Modelling, teachers'views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24 (4), pp. 369-387.

MOREIRA, M. A. (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de Ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1). <http://www.if.ufrgs.br/ienci>

MOREIRA, M. A. e COSTA, S.S.C. (2000). Pesquisa em resolução de problemas em Física: uma visão contemporânea. In: Moreira, M. A., Caballero, C.S e Meneses, J. V. (Eds). *Actas de la I Escuela de Verano sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias*. Burgos: Publicaciones de la Universidad de Burgos, pp. 55-82.

NERSESSIAN N. (1995). Should physicists preach what they practice? *Science & Education*, 4, pp.203-226.

POLYA, G. (1975). *Como plantear y resolver problemas*. México: Trillas.

POZO, J. I. (2002). La adquisición de conocimiento científico como un proceso de cambio representacional. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (3).<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>

STIPCICH, M. S. e MOREIRA, M. A. (2002). Las opiniones de los profesores de Física sobre el concepto de interacción en la enseñanza de la Física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(2), pp. 6-20.

SUTTON, C. (1996). The scientific model as a form of speech. Em Welford, Osborne & Scott (eds) *Research in Science Education in Europe*. London: The Falmer Press Group.

TAO, P.K. e GUNSTONE, R. F. (1999) The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), pp. 859-882.

VERGNAUD, G. (1983). Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d' un exemple: les structures additives. Atelier International d' Eté: Recherche en Didactique de la Physique. La Londe les Maures, França, 26 de junho a 13 de julho

VERGNAUD, G. (1987). Problem solving and concept development in the learning of mathematics. E.A.R.L.I. Second Meeting. Tübingen.

VERGNAUD, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23), pp. 133-170.

VERGNAUD, G. (1996). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, Nº 4, pp. 9-19.

VERGNAUD, G. (1996b). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26(10), pp. 195-207.

VERGNAUD, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2), pp. 167-181.

ZYLBERSTAJN, A. (1998). Resolução de problemas: uma perspectiva kuhniana. Atas do VI ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, Florianópolis.. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Física, (CD-ROM).

Data de recebimento: 18/12/2003

Data de aprovação: 31/05/2004