

A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM CONTEÚDOS DE ONDAS NA PERSPECTIVA DOS CAMPOS CONCEITUAIS: UMA TENTATIVA DE INFERIR A CONSTRUÇÃO DE MODELOS MENTAIS E IDENTIFICAR INVARIANTES OPERATÓRIOS[§]

(Problem solving in the waves subject in the perspective of conceptual fields: an attempt of inferring the construction of mental models and the use of operational invariants)

Célia Maria Soares Gomes de Sousa

Anna Elisa de Lara

Instituto de Física da UnB

Caixa Postal 04455

70919-970 Brasília, DF

celia@fis.unb.br

anna_fisica@yahoo.com.br

Marco Antonio Moreira

Instituto de Física da UFRGS

Caixa Postal 15051

91501-970 Porto Alegre, RS

moreira@if.ufrgs.br

Resumo

A partir de registros obtidos em entrevistas semi-estruturadas sobre conteúdos de *ondas* e na resolução de um problema nessa área, tentou-se, dentro do referencial da teoria dos campos conceituais de Vergnaud e da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird, inferir se os alunos construíam modelos mentais para resolver as situações propostas e identificar invariantes operatórios (teoremas e conceitos-em-ação) usados na construção de tais modelos. Contudo, não foram obtidas evidências suficientemente convincentes para atingir esses objetivos e a razão parece ter sido a inadequação dos registros que, por sua vez, resultaram da inadequação das situações propostas aos alunos. Tais resultados são discutidos ao final do trabalho, como contribuição a futuras pesquisas na área.

Palavras-chave: resolução de problemas, modelos mentais, invariantes operatórios, campos conceituais.

Abstract

From records made from semi-structured interviews on the *waves* subject and from problem solving in this area an attempt was made, in the framework of Vergnaud's conceptual fields theory and Johnson-Laird's mental models theory, to infer whether students constructed mental models in order to deal with the proposed situations and, in such a case, to identify operational invariants (concepts and theorems-in-action) used in the construction of such models. However, the evidence gathered was not sufficiently convincing to infer these models and invariants and the main reason seems to be the inadequacy of the records which, in turn, resulted from the inadequacy of the situations proposed to the students. These findings are discussed at the end of this paper as a contribution to other studies in this area.

Keywords: problem solving, mental models, operational invariants, conceptual fields

Introdução

As pesquisas na área de Ensino de Ciências têm se voltado para os referenciais cognitivistas/construtivistas ao longo das últimas décadas. Dentro dessa tendência, o movimento da

[§] Trabalho apresentado no II Encontro Iberoamericano sobre Investigação Básica em Educação em Ciências, Burgos, Espanha, setembro de 2004. Aceito para publicação na Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências após novo processo de arbitragem.

mudança conceitual foi um dos mais importantes. Nessa ótica, os estudos sugeriam que o processo de aprendizagem estava fundado no ato de mudar as concepções alternativas para concepções cientificamente aceitas. Entretanto, percebeu-se que tal mudança não era facilmente atingida e que tais concepções estavam fortemente enraizadas na estrutura de conhecimento dos alunos, tanto é que os aprendizes voltavam a utilizar antigas concepções, mesmo após passar pelo processo de ensino que se propunha a efetuar a mudança conceitual. Em vista desses resultados, essa importante tendência foi sendo, aos poucos, enfraquecida e o conceito de mudança conceitual foi repensado em termos de novos significados (Moreira e Greca, 2003).

Nessa mesma tendência cognitivista/construtivista, uma outra vertente da pesquisa em ensino de Ciências voltou-se para o referencial piagetiano e, em particular, para as propostas deste autor sobre a causalidade. Começaram a surgir algumas propostas de representações internas que levavam em conta tal causalidade, que seriam formas de “re-presentar” o mundo externo de uma forma estruturalmente análoga e funcional, pelo menos do ponto de vista do sujeito.

Outro referencial, mais recente, para a pesquisa em ensino de Ciências é o das representações mentais, em especial o dos modelos mentais (Johnson-Laird, 1983; Gentner e Stevens, 1983; Moreira, 1996; Markman, 1998). De Kleer e Brown (Sousa e Moreira, 2000), por exemplo, realizaram pesquisas onde tentavam desenvolver modelos de como os alunos entendiam o funcionamento de dispositivos eletro-mecânicos. Os resultados de tais pesquisas mostraram que o sistema cognitivo tem um compromisso com a causalidade. Ou seja, em geral as pessoas explicam fatos baseando-se em causas e efeitos, e não em leis e regularidades.

Johnson-Laird foi um dos pesquisadores que esteve preocupado não apenas em estabelecer um conceito para o que seria um modelo mental, mas também em construir toda uma teoria a respeito de tais modelos. Dentre os tipos de modelos delineados em sua teoria, ele identifica um, denominado modelo causal, análogo aos modelos de Piaget e de De Kleer e Brown, antes referidos. Neste modelo existem relações causais entre os eventos nele representados (Sousa e Moreira, 2000).

A teoria dos modelos mentais parece ter um bom potencial para a área de pesquisa em ensino de Física, exatamente porque o raciocínio envolvido na aprendizagem nesta área é muito baseado em modelos causais. Os conteúdos de Física envolvem, em geral, relações de causa e efeito. A Física é uma ciência na qual as teorias, em geral, são explicativas e preditivas. Assim, o raciocínio envolvido nessa área, quando não está direcionado para explicar a causa de um determinado evento tenta prever o que poderá acontecer a partir de um outro evento. Isto indica que os modelos mentais causais, por envolverem relações de causa e efeito, devem ser muito úteis na busca do entendimento dos processos inerentes à aprendizagem em Física.

Outro importante referencial a ser integrado às pesquisas em ensino de Física é o de Vergnaud (1990), um neo-piagetiano que propõe a teoria dos campos conceituais (Moreira, 2002). Realizando trabalhos na área da Educação Matemática, ele sugere que o conhecimento está organizado em campos conceituais. Sugere ainda que o que rege a realização de tarefas são os esquemas que o sujeito possui. Estes esquemas estão reunidos em um repertórios de esquemas que correspondem às estratégias de ação que os indivíduos desenvolvem para solucionar determinadas situações-problema. Estas estratégias são baseadas no que ele chama de invariantes operatórios que abrangem os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação.

No processo de aprendizagem em Física, os invariantes operatórios do indivíduo devem, idealmente, corresponder aos conceitos e teoremas científicos em questão. O problema é que muitas vezes isso não acontece. Ou seja, os invariantes operatórios do sujeito não estão de acordo com o que é cientificamente aceito. Assim, a aprendizagem, nessa ótica, se dá a partir do momento em que os invariantes operatórios do indivíduo aproximam-se cada vez mais dos conceitos e leis cientificamente aceitos e tornados explícitos de tal forma que o sujeito possa explicá-los e discutí-los com outras pessoas. Desta forma, o ensino estaria baseado na conceitualização dos conteúdos e na troca de significados, sendo que o professor deveria conduzir o aprendiz à construção das

estratégias corretas a partir dos seus invariantes operatórios. A relação entre modificações nos invariantes operatórios e modificações nas estratégias (esquemas) deveria ser, então, biunívoca.

Na pesquisa aqui relatada, adotamos uma fundamentação teórica que articula os referenciais de Johnson-Laird (modelos mentais) e de Vergnaud (campos conceituais). De acordo com (Greca e Moreira, 2002), podemos fazer esta articulação da seguinte maneira (p.12):

“(...) enquanto os esquemas se mantêm como estruturas na memória de longo prazo, com teoremas e conceitos-em-ação (sendo que estes teoremas e conceitos-em-ação contêm informação tanto de propriedades do mundo físico como de relações matemáticas), no momento de enfrentar-se com uma situação nova os sujeitos geram representações na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão, modelos de trabalho para a resolução da tarefa.”

Assim, pretendemos neste trabalho, analisar as estratégias cognitivas que os alunos desenvolvem ao se deparar com uma situação-problema. Pretendemos inferir se o indivíduo constrói um modelo de trabalho e como este modelo estaria estruturado. Pretendemos também, identificar invariantes operatórios que se evidenciem neste processo.

Este procedimento é importante porque estabelecendo um modelo de como se desenvolve o pensamento do aluno, frente a determinadas situações-problemas, poderemos formular propostas que otimizem a aprendizagem. Estamos, com isso, buscando o melhor modelo didático para facilitar o desenvolvimento das estratégias cognitivas ligadas ao conteúdo de Física.

Fundamentação Teórica

A hipótese central da psicologia cognitiva contemporânea é a de que o funcionamento da mente é melhor compreendido em termos de *representações mentais* e de *procedimentos computacionais* que operam sobre tais representações. Assim, se o conhecimento consiste de representações mentais, é natural pensar que os pesquisadores da área tenham tentado definir, ou pelo menos delinear, alguns tipos de representações mentais. E, de fato, assim tem sido.

Dentre as abordagens às representações mentais, as dos modelos mentais são as mais recentes e talvez as de maior potencial. Tal como proposto por Johnson-Laird (Moreira et al., 2001), *modelos mentais são análogos estruturais de estados de coisas do mundo*. São representações internas de informações que correspondem analogamente (em termos estruturais) ao que está sendo representado. Os modelos mentais são compostos por elementos (*tokens*) e relações entre eles. Segundo Johnson-Laird (Moreira, 1996), os modelos mentais são representações analógicas de conceitos, objetos ou eventos. A vista de um modelo mental por qualquer ângulo é chamada imagem. Eles são, ainda, como blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinados conforme necessário. Um modelo mental também pode conter proposições. Por um lado, as proposições são interpretadas em relação a modelos mentais: uma proposição é verdadeira ou falsa em relação a um modelo mental de um estado de coisas do mundo. Por outro, modelos mentais podem ser construídos a partir do discurso.

Para Johnson-Laird, os modelos mentais seriam análogos a uma linguagem de alto nível, enquanto que o cérebro trabalharia com uma linguagem mais básica, não acessível por fazer parte de um processo não-consciente. Segundo sua teoria, a compreensão implica a construção de modelos mentais. Quando compreendemos algo, no sentido de ser capaz de descrevê-lo, de explicar como funciona, de fazer inferência, é porque temos um modelo mental desse algo (Sousa e Moreira, 2000).

Johnson-Laird (1983) distingue entre modelos mentais físicos que são os que representam o mundo físico e modelos mentais conceituais que são os que representam coisas mais abstratas. Dentre os modelos mentais físicos, ele identifica seis tipos principais (p. 422 e 423): 1. Relacional é um quadro estático; 2. Espacial é um modelo relacional no qual as únicas relações que existem são espaciais; 3. Temporal é o que consiste em uma seqüência de quadros espaciais que ocorre em uma ordem temporal; 4. Cinematográfico é um modelo temporal psicologicamente contínuo; 5. Dinâmico é um modelo cinematográfico no qual existem também relações entre certos quadros representando relações causais entre os eventos representados; 6. Imagem é uma vista do objeto ou evento representado no modelo subjacente.

No que se refere ao pensamento e ao raciocínio, o foco de aplicação da teoria dos modelos mentais está não só nas representações subjacentes às várias atividades, mas também nos processos que operam sobre tais representações na memória de curto prazo. São os modelos mentais que mediam o processo de raciocínio entre premissas e conclusões. Cada premissa ou informação que contribui para uma linha de pensamento deve ser mentalmente modelada. Os modelos resultantes devem, então, ser integrados. O processo de integração que, provavelmente, é similar ao necessário à compreensão da linguagem (signos-significados), origina um modelo inicial das premissas. Processos adicionais são necessários para derivar uma conclusão final, mas dependem do tipo de raciocínio envolvido (Moreira et al., 2001).

Como os problemas de Física são quase que invariavelmente formulados através de enunciados lingüísticos que implicam não só compreensão mas também raciocínio, é óbvio que a teoria dos modelos mentais se aplica à resolução de problemas. A compreensão do enunciado implica, então, a construção de um modelo mental da situação problemática nele descrita. A construção deste modelo está baseada na informação contida no enunciado e na informação que o sujeito tem armazenada na memória (no caso, o conhecimento prévio de Física).

Um pressuposto básico da teoria dos modelos mentais é o de que as representações mentais do conteúdo de textos têm forma similar às representações derivadas da percepção do mundo, bem como daquelas usadas para pensar sobre o mundo. Ou seja, representações mentais derivadas da linguagem e da percepção são da mesma espécie. Contudo, é mais fácil construir modelos mentais derivados da percepção do mundo do que do discurso. A percepção é a fonte primária dos modelos mentais. Mas no caso dos enunciados dos problemas de Física, a modelização mental deve ser feita a partir da linguagem, o que é mais difícil. Às vezes, chega a ser extremamente difícil porque o discurso é cheio de lacunas e porque não é qualquer conjunto de sentenças que constitui um discurso coerente e facilmente modelizável quando combinado com o conhecimento que o sujeito possui. No caso da Física, este conhecimento inclui conceitos, modelos e procedimentos físicos (Moreira et al., 2001).

É preciso notar que a modelização da situação problemática não é sinônimo de resolução do problema do ponto de vista da Física. Os problemas de Física implicam também em solução formal, precisa, matemática, da situação física envolvida. Assim, os modelos mentais são úteis na medida em que são necessários para entender não só os conteúdos de Física de uma forma geral, mas também a situação física problemática, isto é, o problema em si, e servir como base para buscar a solução formal. Provavelmente, é por não serem capazes de construir um modelo mental do problema, que os alunos de Física saem mecanicamente atrás de fórmulas para resolvê-los. Mas a construção de um modelo mental adequado, que sirva de ponto de partida, parece não ser trivial (ibid.).

No nosso ponto de vista, há uma grande compatibilidade entre a teoria de Johnson-Laird e uma outra teoria que leva em conta o referencial piagetiano: a Teoria dos Campos Conceituais.

A teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud é uma teoria psicológica da conceitualização, uma teoria cognitivista do processo de conceitualização do real, como ele próprio diz. É uma teoria pragmática no sentido de que pressupõe que a aquisição do conhecimento é moldada por situações e problemas e ações do sujeito nessas situações. Quer dizer, é por meio de situações e problemas a resolver que um conceito adquire *sentido* para o aprendiz. É também uma teoria complexa, ou uma teoria da complexidade cognitiva, pois contempla o desenvolvimento de situações progressivamente dominadas, dos conceitos e teoremas necessários para operar eficientemente nessas situações e das palavras e símbolos que podem eficazmente representar esses conceitos e operações para o indivíduo, dependendo do seu nível cognitivo (Sousa, 2001).

A teoria dos campos conceituais é uma teoria psicológica de conceitos, desenvolvida a partir da premissa de que não se pode evidenciar e analisar as dificuldades encontradas pelos alunos ignorando as especificidades dos conteúdos envolvidos e não levando em consideração o processo de conceitualização do real no qual está engajado o aprendiz (Vergnaud, 1983). O conceito de campo conceitual é, então, introduzido como uma unidade de estudo adequada para dar sentido às dificuldades observadas nesse processo de conceitualização do real. Assim, o professor sempre trabalhará baseado nas dificuldades do aprendiz.

Esse conceito é definido como um conjunto de situações cuja abordagem requer o domínio de vários conceitos de naturezas distintas (Vergnaud, 1988). As situações referidas nestas situações não são de caráter didático; podem ser pensadas como um certo complexo de objetos, propriedades e relações em um espaço e tempo determinados, envolvendo o sujeito e suas ações. São as situações que dão sentido aos conceitos, ou seja, um conceito torna-se significativo para o sujeito por meio de uma variedade de situações e diferentes aspectos de um mesmo conceito estão envolvidos em distintas situações. Por outro lado, uma situação não pode ser analisada por intermédio de um só conceito. Por isso, deve-se falar em campos conceituais ao invés de situações isoladas ou conceitos isolados (Vergnaud, 1994).

Assim como as situações dão sentido aos conceitos, os esquemas dão sentido às situações. São os esquemas evocados no sujeito por uma situação que constituem o sentido dessa situação para esse sujeito. Esquema é uma organização invariante da conduta para uma determinada classe de situações (Vergnaud, 1990, 1994). Não é o comportamento que é invariante, mas sim a organização do comportamento. Isso significa que um esquema é um universal eficiente (não necessariamente eficaz) para todos um espectro de situações, podendo gerar diferentes seqüências de ações, dependendo das características de cada situação em particular (Vergnaud, 1998).

Um esquema pode comportar objetivos e antecipações, regras de ação, invariantes operatórios e possibilidades de inferência (Vergnaud, 1990 e 1994). Destes componentes, os mais importantes são os invariantes operatórios – cujas principais categorias são os teoremas-em-ato ou em ação e os conceitos-em-ato ou em ação – pois eles é que fazem a articulação entre teoria e prática, constituindo a base conceitual, em grande parte implícita, que permite obter informação apropriada e, a partir dela e dos objetivos, inferir as regras de ação mais pertinentes para abordar a situações. Teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como pertinente (Vergnaud, 1996). Se um esquema se aplica a uma classe de situações, ele deve conter invariantes operatórios relevantes a toda a classe. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação não são verdadeiros conceitos e teoremas científicos, mas são componentes essenciais dos esquemas e estes são a base do desenvolvimento cognitivo. Esse conhecimento-em-ação pode, no entanto, evoluir para conhecimento cientificamente aceito. A dificuldade é que ele é largamente implícito e o conhecimento científico é explícito. Para que o professor atue como mediador na evolução de conhecimentos-em-ação para conhecimentos científicos é preciso que os primeiros sejam explicitados. Tarefa nada fácil tanto para o professor como para o aluno.

À medida em que os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação se tornam mais claros e próximos dos teoremas e conceitos científicos, eles fazem com que o esquema seja mais eficaz e mais útil. Além disso, possibilitam a criação, pelo indivíduo, de esquemas mais complexos, mais eficientes e mais úteis, o que proporciona progressivo avanço no campo conceitual correspondente. Isso pode ser caracterizado como aprendizagem na ótica de Vergnaud.

Os trabalhos de Moreira (2002) e Greca e Moreira (2002) partem da hipótese de que um modelo mental seria uma primeira representação de uma situação problemática. Neste contexto, o modelo mental seria uma estrutura facilmente modificável, instável, descartável e faria parte apenas da memória de curto prazo. Já na memória de longo prazo estariam os esquemas de assimilação. Assim, o modelo mental seria apenas um modelo de trabalho, enquanto que os esquemas abrigariam o conhecimento do indivíduo. Mudanças no repertório de esquemas seriam devidas aos resultados de operações realizadas com modelos mentais.

Segundo Greca e Moreira (op. cit.) enquanto os esquemas se mantêm como estruturas na memória de longo prazo, com teoremas e conceitos-em-ação (sendo que estes teoremas e conceitos-em-ação contêm informações tanto de propriedades do mundo físico como de relações matemáticas), no momento de enfrentar-se com uma situação nova os sujeitos geram representações na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão, modelos de trabalho para a resolução da tarefa.

De acordo com esta proposta, os invariantes operatórios guiam a construção do modelo mental. Comparando o modelo mental com a realidade ou simplesmente operando com ele, o sujeito é capaz de fazer certas inferências. Tais inferências provocarão a modificação ou a preservação dos invariantes operatórios.

Assim, escolhemos esta articulação como o nosso referencial teórico, à luz do qual todos os dados deste trabalho seriam analisados.

Metodologia

Participaram deste estudo, alunos de uma turma da disciplina Física 2 (que aborda os conteúdos de Gravitação, Ondas e Termodinâmica), oferecida pelo Instituto de Física da Universidade de Brasília no segundo período letivo de 2002.

Com base no desempenho dos alunos em uma das avaliações parciais da disciplina, que tratava do conteúdo de ondas, foram selecionados, como sujeitos da pesquisa, seis alunos de acordo com o seguinte critério: dois de baixo desempenho, dois de médio e dois de alto, em termos da pontuação obtida nessa avaliação.

Estes alunos concordaram em serem submetidos, individualmente, a uma entrevista semi-estruturada, que consistiu de um conjunto de questões a serem respondidas versando sobre o conteúdo de Ondas, nesse nível de ensino, e da resolução de um problema específico relativo a ondas estacionárias.

As entrevistas foram gravadas em áudio. As gravações foram transcritas, gerando protocolos verbais que foram analisados, de modo preliminar, predominantemente, por meio da seleção de trechos das entrevistas (André, 1989; Martins, 1989) que nos pareceram dar evidências da construção de modelos mentais e da utilização de invariantes operatórios presentes processo. Essa análise se baseou, também, no material escrito (figuras, cálculos, demonstrações) desenvolvido pelo aluno, durante a entrevista, no processo de resolução da situação problemática.

Resultados e Discussão

A análise dos protocolos verbais gerados pela transcrição das entrevistas e do respectivo material escrito, sugere que, de maneira geral, os alunos parecem trabalhar com modelos mentais

causais. Entretanto, tais modelos, nos casos dos sujeitos de médio e baixo desempenho, não apresentam *robustez* no sentido de que não se mostram capazes de se reestruturarem perante variações na situação problemática. Os sujeitos de alto desempenho parecem demonstrar maior habilidade em criar e utilizar tais modelos no trato com a situação problemática.

A seguir apresentamos trechos transcritos das entrevistas como exemplos indicadores da utilização, por parte de dois alunos, de modelos de trabalho e de evidências da presença de invariantes operatórios nesse processo. (E = entrevistador; S₂ = sujeito 2; S₄ = sujeito 4)

E: Então eu queria que você me explicasse cada termo, o que significa, o que você lembrar, se você não lembrar não faz mal... (fala e escreve uma equação)

S₂: O y em função de x e t, é a... no caso, se eu fizer um desenho, o ponto onde a oscilação vai estar em relação ao eixo y. Dá "pra" fazer dois gráficos nisso aqui "né". Dá "prá" fazer gráficos em função de x, em função de t, "prá" simplificar. Tem... y_m, no caso aqui vai até, é o máximo que vai chegar em y. Y no caso aqui, a grandeza física que ele vai representar... bom, dá "prá" você medir a amplitude "né", quanto maior o y_m maior é a amplitude da onda. Humm... a função seno presente aqui "tá" indicando que tem oscilações, o x é só no caso a direção em que a energia "tá" se propagando.

Neste ponto da entrevista foi apresentada ao sujeito S₂ (alto desempenho) a expressão característica de uma onda estacionária, em uma corda, e se solicitou o significado de cada um dos seus termos. A expressão foi a seguinte:

$$y(x, t) = (2,0 \text{ cm}) \text{ sen } [\pi/2 \text{ cm}^{-1}x] \text{ cos } [(12\pi \text{ s}^{-1})t]$$

Ao dizer "...se eu fizesse um desenho..." e apresentar o desenho, como o fez, S₂ parece utilizar-se de uma ilustração para externalizar uma representação interna, um modelo mental sobre ondas estacionárias que ele parece possuir. Ele demonstra ter compreensão conceitual e também procedimental, em termos de operações matemáticas, da expressão. É capaz de identificar, no tratamento gráfico, os conceitos e relações nela contidos. Identifica a amplitude da onda e identifica a oscilação devido à presença da função seno na expressão.

S₂ parece fazer uso de um modelo mental que dá significado à expressão matemática que descreve uma onda estacionária. Ou seja, provavelmente há um modelo mental subjacente às explicações e justificativas que ele usa para dar conta da situação problemática

Na seqüência do trecho anteriormente analisado, foi apresentado ao mesmo sujeito S₂ uma outra situação problemática, agora com questões mais específicas sobre ondas, o que gerou o trecho transcrito abaixo.

E: É isso mesmo. Então agora eu vou te dar duas representações, são duas ondas nesse formato. (fala as equações, e escreve) Eu queria que você me dissesse qual a diferença; isso significa uma onda e isso significa outra onda. Então eu queria que você me dissesse quais as diferenças entre elas, se você achar necessário desenhar você pode desenhar. E, assim... eu queria que você me falasse.

S₂: Bom, aqui, no caso a amplitude dessa é maior então, graficamente o y dela atingiria um valor mais alto. E elas não estão em fase, ou seja o ponto mais alto, no gráfico, o ponto mais alto de uma não vai coincidir no eixo x com o ponto mais alto da outra.

E: Por que?

S₂: Bom, no caso aqui na equação, é por causa desse ângulo aqui.

E: Tudo bem... e velocidade de propagação, o que você diria?

S₂: Bem, velocidade de propagação...

E: Diferentes? Iguais?

S₂: Bom, aqui o ômega ele "tá" o mesmo "prás" duas, então eu acho, eu não tenho certeza porque eu não "tô" conseguindo lembrar direitinho as relações aqui, mas eu acho que por isso eu posso concluir que a velocidade é a mesma.

E: Uhum... e comprimento de onda?

S₂: Comprimento também porque esses valores são iguais. (se refere ao valor de k)

E: Está bem. Período e frequência? Diferentes? Iguais?

S₂: É, eu suponho que sejam iguais.

E: "Tá." Por causa do ômega?

S₂: É, por causa do ômega.

Nesta situação, foi proposta, inicialmente, a expressão geral para uma onda transversal:

$$y(x, t) = y_m \text{ sen } (kx - \omega t)$$

O aluno foi, então, solicitado a explicitar o significado de cada um dos termos desta expressão, o que ele fez sem maiores dificuldades.

Em seguida, foram apresentadas a ele as duas expressões características de ondas transversais a seguir:

$$y(x, t) = 2 \text{ sen } (3x - 5t)$$

$$y(x, t) = 0,5 \text{ sen } (3x - 5t + \pi)$$

Solicitou-se, então, que S₂ as comparasse em termos das grandezas físicas envolvidas. A abordagem feita por ele a esta solicitação indica que ele parece estar utilizando, na resolução dessa situação, um modelo de trabalho baseado na expressão geral que lhe permite identificar os valores das amplitudes, relacionando-os às representações gráficas. O mesmo acontece para o conceito de diferença de fase ("E elas não estão em fase, ou seja, o ponto mais alto, no gráfico, o ponto mais alto de uma não vai coincidir no eixo x com o ponto mais alto da outra"). Em relação à velocidade de propagação (ω), ao comprimento de onda, ao período e à frequência ocorre o mesmo processo de identificação na expressão e atribuição dos seus respectivos significados físicos, embora não faça referência à representação gráfica.

Ressaltamos que toda a explicitação verbal é feita sem que ele veja ou desenhe o gráfico em questão, o que nos faz acreditar que subjacente a todas essas explicações há um modelo mental que o aluno utiliza para dar conta da situação. Seria um modelo mental essencialmente proposicional, cremos. Tal como sugerem Greca e Moreira (2000) tais modelos são perfeitamente possíveis.

E: Tudo bem. Bom, então vamos pensar um pouquinho. Se eu pegar uma corda solta e fizer um pulso, o que acontece no final da corda?

S₂: O pulso vai morrer lá...

E: "Prá" eu ter uma onda estacionária, será que isso pode acontecer?

S₂: Tem que voltar "né"? Então tem que estar fixa.

E: Então, "prá" você ter uma onda estacionária, você tem que ter uma onda indo....(?)

S₂: E uma voltando.

E: Isso. E quando a onda que volta encontra a onda que vai o que é que acontece?

S₂: Interferência de ondas.

Este trecho trata do conceito de onda estacionária no que se refere às suas características e condições de ocorrência. Diferentemente do caso anterior, parece acontecer aqui uma tentativa de construir um modelo para onda estacionária, que não tem sucesso porque os seus invariantes

operatórios seriam poucos e frágeis de tal forma que não dariam sustentação à construção de um modelo de trabalho. Ao identificar isso (em trecho anterior da entrevista), a entrevistadora tentou conduzir a busca por informações pertinentes à solução do problema, perguntando diretamente sobre o conhecimento relevante relativo ao problema e constatou deficiências conceituais nesse conhecimento.

Em alguns casos, acreditamos haver obtido evidências da utilização de invariantes operatórios por parte dos sujeitos para dar conta da situação problemática em questão. Entretanto, tal como esperávamos, os que demonstraram não serem capazes de construir um modelo de trabalho robusto foram aqueles cujos invariantes operatórios (em especial os teoremas-em-ação) estão distantes daqueles cientificamente aceitos e, portanto, não sustentam a construção de um modelo mental eficiente na solução da situação problemática.

Apresentamos a seguir, trechos que sugerem a utilização de invariantes operatórios (conceito-em-ação e teorema-em-ação):

E: Uhum... Muito bom. E você poderia descrever "prá" mim cada um deles. Amplitude?

S₂: A amplitude "tá" ligada com a intensidade da onda. Então, no caso, é a quantidade de energia que ela carrega, "tá" ligada à amplitude. O comprimento da onda, pelas idéias bem gráficas assim, no caso é o tamanho de uma... é a distância entre uma oscilação e outra. Período é o tempo que leva "prá" completar uma oscilação e a frequência é a quantidade de oscilações em uma unidade de tempo, segundo caso. Que mais que eu falei?

E: Velocidade.

S₂: A velocidade tem a ver com a... no caso, graficamente poderia encarar como... ah... é a velocidade com que a energia se propaga. Se a gente for ver uma corda, uma onda se propagando numa corda é a velocidade que uma oscilação na corda leva "prá" ir de um ponto até outro.

O trecho sugere a utilização da *amplitude* como um conceito-em-ação, i.e., algo que se aplica, relacionando-a à intensidade da onda, ou seja, à energia na onda. Os conceitos-em-ação de comprimento de onda, período, frequência e velocidade da onda parecem, apesar de pouco contextualizados na situação problemática em questão, estar próximos daqueles cientificamente aceitos.

S₂: No caso de uma corda, eu acho que o tamanho da corda onde a onda tem que estar, ele tem que ser um múltiplo do comprimento de onda. E... se tiver mais alguma coisa eu não lembro...

E: Então agora é "prá" você fazer o "desenhinho" da onda...

S₂: O comprimento é quatro... hum... tem uma coisa que eu "tava" pensando mas... não "tá" muito...

E: Então vai me falando o que é que você "tava" pensando, aí qualquer coisa eu vou te dando mais informações...

S₂: Que aquela idéia de... no caso, o comprimento da corda ser um múltiplo do comprimento de onda...

E: Ah, entendi. Na verdade ele pode ser um múltiplo do meio comprimento de onda.

S₂: Hum...

E: Porque um comprimento de onda seria isso aqui, não seria?

S₂: É.

E: E numa onda estacionária a gente pode ter coisas assim "né". (um só ventre)

S₂: Sim.

E: Então deve ser um múltiplo desses meio-comprimentos de onda.

S₂: Hum... então...

Neste trecho, o sujeito parece perceber que o seu teorema-em-ação (comprimento da corda ser múltiplo do comprimento de onda) relacionado à condição para se obter uma onda estacionária não

está dando conta da situação problemática tal como ele a tinha desenvolvido. Então, ele efetua, em interação com a entrevistadora, uma correção seu teorema-em-ação, (introduzindo a condição de meio comprimento de onda) de tal forma que ele se torna mais efetivo para a solução da situação problemática.

S₄: Tem o período que é igual a $1/f$ "né", e o período é o tempo que vai... que essa onda vai demorar propagando em um segundo...

S₄ (médio desempenho) apresenta o que parece ser um teorema-em-ação ($T = 1/f$) envolvendo os conceitos de período e frequência que, por sua vez, não estão claros para ele. Trata-se de um invariante operatório que deverá interferir negativamente no processo de resolução da situação problemática porque o aluno não tem claro os significados dos conceitos envolvidos.

Estes resultados sugerem que, para que o aluno seja capaz de construir um modelo mental eficiente que dê conta de uma situação problemática, ele deve ter bem desenvolvidos e próximos daqueles cientificamente aceitos, os invariantes operatórios do campo conceitual em questão. Quando isso não acontece, o aluno parece tentar desenvolver um procedimento aleatório de busca pela "fórmula" que lhe dê a solução procurada, ou seja, desenvolve a estratégia mais "rudimentar" de tentativa-e-erro na busca por elementos que possam ser úteis na tentativa de resolução da situação problemática, característica de uma aprendizagem mecânica.

Conclusão

Os resultados preliminares desse estudo reforçam a nossa idéia de que a resolução de uma situação problemática é facilitada quando o aluno é capaz de construir modelos mentais adequados e eficientes para dar conta dela. A construção de tais modelos parece depender fortemente da disponibilidade, no repertório do aprendiz, de invariantes operatórios significativos. Ou seja, parece ser imprescindível que, no processo de construção de modelos mentais eficientes, o aprendiz conte com invariantes operatórios próximos daqueles cientificamente aceitos. Portanto, nos parece que uma das primeiras tarefas a serem realizadas pelo professor, ao trabalhar em um determinado campo conceitual, seria a de promover o desenvolvimento dos invariantes operatórios dos alunos, no sentido de levá-los o mais próximo possível daqueles que são cientificamente aceitos.

Como diz Vergnaud, os invariantes operatórios implícitos que o sujeito usa podem ser precursores do desenvolvimento de teoremas (proposições) e conceitos cientificamente aceitos. Por outro lado, em alguns casos é preciso romper com eles. Mas tanto quando se trata de continuidade como de ruptura é preciso explicitar os invariantes operatórios implícitos. Enquanto forem implícitos não se pode tentar usá-los como precursores de conhecimentos científicos nem tentar romper com eles quando necessário.

Precisamente aí nosso estudo, pelo menos nessa primeira fase, falhou. Embora tenhamos a intuição de que em certos casos os alunos construíram modelos mentais para dar conta das situações problemáticas e que tais modelos continham o que Vergnaud chama de invariantes operatórios (regras, implícitas, que o sujeito crê serem verdadeiras sobre situações, e propriedades que lhe parecem que se aplicam) não fomos capazes, de fato, de inferir tal construção e de identificar tais invariantes.

Pretendíamos, por um lado, inferir se os alunos construíam modelos mentais e, por outro, identificar invariantes operatórios neles contidos. Quanto aos modelos, nos pareceu que os alunos

de alto desempenho formavam tais modelos (causais) porque davam evidências de compreensão significativa e, segundo Johnson-Laird, compreensão implica modelos mentais na memória de curto prazo. Mesmo assim, tais evidências foram pouco convincentes. Quanto aos alunos de médio e baixo desempenho nos pareceu que seus modelos eram pouco robustos, mas não obtivemos claros indicadores disso.

No que se refere aos invariantes operatórios, nossos resultados foram ainda menos convincentes em termos de evidências. Praticamente, não conseguimos identificar invariantes operatórios.

O que teria, então acontecido? Tínhamos registros aparentemente adequados, mas não conseguimos gerar asserções de conhecimento. Teriam sido inadequadas as transformações metodológicas feitas nesses registros? Nos parece que não. Cremos que as *situações* que foram mal escolhidas e daí podemos tirar uma lição que nos parece importante para a pesquisa no referencial de Johnson-Laird e Vergnaud, a qual nos propusemos neste estudo.

Para Vergnaud, são as situações que dão sentido aos conceitos. Tais situações não são propriamente didáticas, mas, antes, situações problemáticas. Nossas situações eram as de sempre, ou seja situações usuais do ensino de Física Geral e não tínhamos como fugir delas. Eram situações que sempre se usa no Ensino de Física Geral, inclusive no laboratório, e que são pouco apropriadas para dar sentido aos conceitos. Os alunos as abordam mecanicamente. Usam o discurso científico sem ter captado seus significados. São situações que não levam o aluno a usar (e explicitar) seus invariantes operatórios (que são largamente implícitos) e não ajudam a dar sentido aos conceitos envolvidos. Certamente não são as situações-problema das quais fala Vergnaud.

A lição é que dificilmente obter-se-á registros que permitam inferir a construção de modelos mentais e identificar invariantes operatórios conduzindo a pesquisa dentro de um currículo disciplinar rígido no qual o professor pesquisador não tem liberdade para modificar roteiros de laboratório, planos de aula e instrumentos de avaliação. As situações de Vergnaud devem ser cuidadosamente selecionadas, pesquisadas, modificadas, descartadas. Enfim, deve haver aí uma grande flexibilidade que um ensino massificado e altamente estruturado não permite.

Pesquisar dentro de referenciais complexos e ricos como o da articulação Vergnaud (Piaget) e Johnson-Laird, proposto por Greca e Moreira (2002), que nos propusemos a usar neste estudo exige muito mais, em termos de registros, do que coletar respostas de alunos em provas e entrevistas. Provavelmente exige também mais, em termos metodológicos, do que seleção de trechos de entrevistas, mas, no nosso caso, cremos que o problema esteve principalmente nos registros. Certamente levaremos isso em conta ao continuar pesquisando dentro do programa de pesquisa delineado na introdução e na fundamentação teórica deste trabalho. Acreditamos que esse referencial pode gerar um programa de pesquisa na área de Ensino de Ciências, mas nesse programa, como em qualquer outro, os registros são fundamentais. Como bem diz Gowin (1981), em seu *Vê epistemológico*, apresentado na figura 1, a produção de conhecimentos começa com questões-foco que são respondidas através da permanente interação entre um domínio conceitual e um domínio metodológico, sendo que neste tudo começa com registros. Sem bons registros todo esse lado e, conseqüentemente, toda a pesquisa fica prejudicada. Na Figura 1, grifamos os registros justamente para destacar sua importância no processo de produção de conhecimentos.

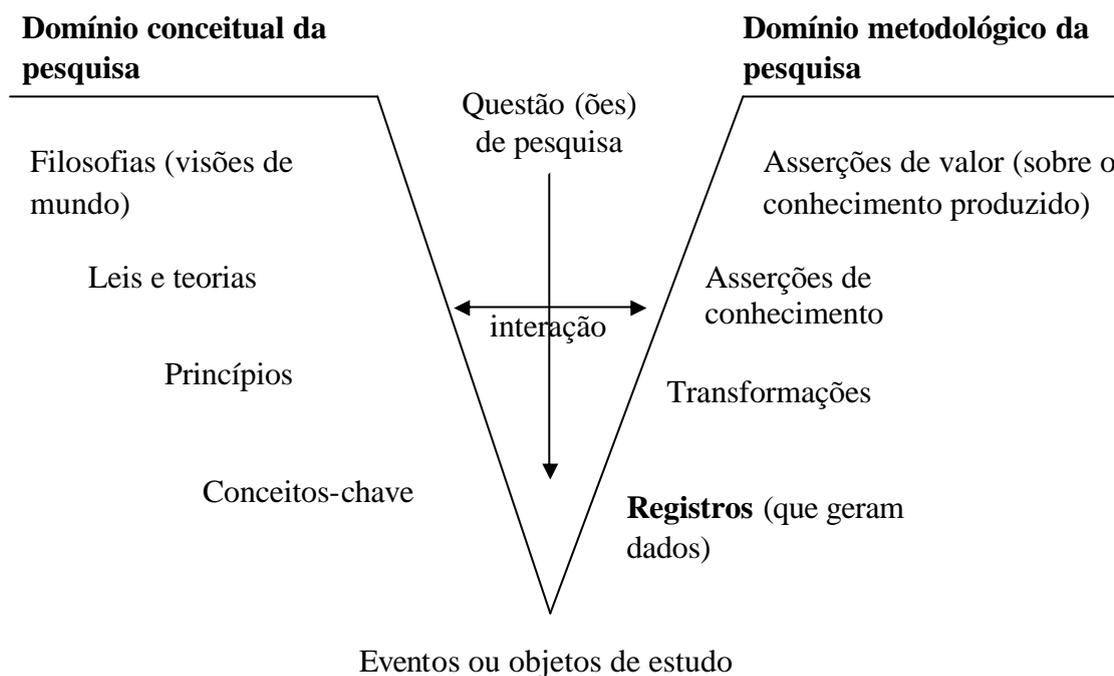


Figura 1: O Vê epistemológico de Gowin (1981) na leitura de Moreira (1997).

Bibliografia

- André, M. E. D. A. (1989). A Pesquisa no Cotidiano Escolar. In: Fazenda, I. (org.) *Metodologia de Pesquisa Educacional*. 4ª edição. Cortez, 176p.
- Gowin, D.B. (1981). *Educating*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.
- Greca, I.M. and Moreira, M.A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(11): 1-11.
- Greca, I. M. e Moreira, M. A.(2002). Além da Detecção de Modelos Mentais dos Estudantes, uma Proposta Representacional Integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, RS. 7(1) <http://www.if.ufrgs.br/ienci>
- Martins, J. (1989). A Pesquisa Qualitativa. São Paulo, SP. PUC/SP/UNICAMP em Fazenda, I. (org.) *Metodologia de Pesquisa Educacional*. 4ª edição. Cortez, 176p.
- Moreira, M. A.(1996). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, RS. 1(3) <http://www.if.ufrgs.br/ienci>
- Moreira, M.A. (1997). *Diagramas V no ensino de Física*. Textos de Apoio ao Professor de Física, n. 7. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS.
- Moreira, M. A.(1999). *Aprendizagem Significativa*. Brasília, DF. Editora Universidade de Brasília.
- 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*. Porto Alegre, RS. 7(1) <http://www.if.ufrgs.br/ienci>
- Moreira, M.A., Greca, I.M., Costa, S.S.C. e Sousa, C.M.S.G. (2001). *Modelos mentais e resolução de problemas*. Projeto de pesquisa desenvolvido com apoio do CNPq no período 2001-2003.

- Sousa, C. M. S. G. e Moreira, M. A. (2000). A Causalidade Piagetiana e os Modelos Mentais: Explicações Sobre o Funcionamento do Giroscópio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 22(2): 223-231.
- Sousa, C. M. S. G. (2001). A Resolução de Problemas e o Ensino de Física: Uma Análise Psicológica. Tese de Doutorado. Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília.
- Vergnaud, G. (1983). Multiplicative structures. In Resh, R. and Landau, M. (Eds.) *Aquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. pp.127-174.
- Vergnaud, G. (1988). Multiplicative structures. In Hilbert, J. and Behr, M. (Eds). *Research Agenda in Mathematics Education. Number, Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum. pp. 141-161.
- Vergnaud, G. (1990) La théorie des champs conceptuels. *Récherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.
- Vergnaud, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds) *The development of multiplicative reasoning in the leaning of mathematics*. Albany, N.Y., State University of New York Press. pp. 41-59.
- Vergnaud, G. (1996). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, nº4: 9-19.
- Vergnaud, G. (1998) A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2): 167-181.