

---

---

**ANÁLISE DE PROCEDIMENTOS DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM  
CONTEÚDOS DE ONDAS, EM NÍVEL UNIVERSITÁRIO BÁSICO,  
NA PERSPECTIVA DOS CAMPOS CONCEITUAIS**

**Célia Maria Soares Gomes de Sousa**

Instituto de Física – UnB, Caixa Postal 04455

70919-970 Brasília, DF

celia@fis.unb.br

**Anna Elisa de Lara**

Bolsista PIBIC/UnB – 2002/2003

anna@alunos.fis.unb.br

## **Resumo**

A teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983) e a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (Moreira, 2002) são dois importantes referenciais teóricos na vertente cognitivista/ construtivista, a qual tem fundamentado várias pesquisas recentes na área de ensino de ciências.

Tal como proposto por Johnson-Laird, modelos mentais são análogos estruturais de coisas do mundo; são representações de alto nível, essenciais para o entendimento da cognição humana. Assim como um computador opera com um código binário, mas os programadores trabalham com linguagem de alto nível, a mente humana operaria com algum código próprio, mas seu funcionamento poderia ser descrito em termos de modelos mentais, imagens e proposições sem ter acesso (e, de fato, não se tem, pois é não consciente) a esse código (Sousa e Moreira, 2000). Para Johnson-Laird, a compreensão implica a construção de modelos mentais. Quando compreendemos algo, no sentido de sermos capazes de descrevê-lo, de explicar como funciona, de fazer inferências, temos um modelo mental desse algo. Dentre os modelos mentais identificados por esse autor em sua teoria há o denominado *modelo mental dinâmico*. Tais modelos, também chamados de modelos mentais causais (De Kleer e Brown, 1983), têm um compromisso ontológico básico: tudo tem uma causa. O raciocínio com esse tipo de modelo é causal, não legal, as explicações são em termos de ações e efeitos, não de leis e regularidades. Trata-se de um modelo basicamente qualitativo, onde existem somente relações causais do tipo: “se isso acontecer então tal coisa acontecerá”, usando propriedades do tipo: “grande”, “pequeno”, “maior”, “menor”, “igual”, “mesmo”.

A causalidade piagetiana é também explicativa, não legal, pressupondo modelos explicativos construídos pelo sujeito. Parece, então, que os modelos mentais causais podem muito bem fazer uma interface entre a psicologia cognitiva do processamento da informação e a psicologia do desenvolvimento cognitivo de Piaget, na medida em que possam funcionar como modelos explicativos necessários à causalidade piagetiana (Sousa e Moreira, 2000).

Segundo Garnham (1997, p. 149), o processamento da linguagem é um dos dois principais domínios de aplicação da teoria dos modelos mentais; o segundo é o do pensamento e raciocínio. No caso do processamento da linguagem, o foco de atenção está nos modelos mentais que as pessoas constroem quando entendem o que lêem ou o que lhes é dito. Ou seja, a compreensão do discurso escrito ou falado requer a construção de modelos mentais. No que se refere ao pensamento e ao raciocínio, o foco de aplicação da teoria dos modelos mentais está não só nas representações subjacentes a estas atividades, mas também nos processos que operam sobre tais representações na memória de curto prazo (op. cit. p. 162). São os modelos mentais que mediam o processo de raciocínio entre premissas e conclusões.

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 a construção de um modelo mental da situação problemática nela 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).

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.

Isto nos leva a afirmar que a natureza dos modelos mentais é diferente da dos modelos conceituais. Segundo Eisenck e Keane (1994, p. 358): "Os modelos mentais constituem o entendimento causal que a pessoa tem de um sistema físico e são utilizados para entender e realizar predições sobre o comportamento daquele sistema; eles são incompletos, instáveis e podem até mesmo ser parcialmente ad hoc; estes modelos podem ser executados, ou seja, podem simular o comportamento de um sistema físico e podem ser acompanhados de imagens visuais..."

Esse tipo de modelo é necessário para compreender a situação física problemática, isto é, o problema em si, e servir como heurística 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 heurístico adequado parece não ser trivial (Moreira et al., 2001).

Uma proposta que, no nosso entender, pode proporcionar um avanço no estudo do processo de construção de modelos mentais na resolução de problemas de Física se insere na compatibilidade e/ou complementaridade entre a teoria dos modelos mentais e o referencial piagetiano. Trata-se da teoria dos campos conceituais de Vergnaud

A teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud é uma teoria psicológica de conceitos (Vergnaud, 1990, p. 147), uma teoria cognitivista do processo de conceitualização do real, como ele próprio diz (op. cit., p. 133). 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 (Vergnaud, 1994, p. 42). 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 de seu nível cognitivo (Vergnaud, 1994, p. 43).

A teoria dos campos conceituais é uma *psicologia 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., p. 392). O conceito de *campo conceitual* é, então, introduzido como a unidade de estudo adequada para dar sentido às dificuldades observadas nesse processo. Esse conceito é definido como um conjunto de *situações* cuja abordagem requer o domínio de vários conceitos de naturezas distintas (Vergnaud, 1988, p. 141; 1990, p. 146). As situações referidas nesta definição são aquelas 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, p. 46).

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, p. 136; 1994, p. 153). 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 todo um espectro de situações, podendo gerar diferentes seqüências de ações, dependendo das características de cada situação em particular (Vergnaud, 1998, p. 172). Um esquema pode comportar objetivos e antecipações, regras de ação, *invariantes operatórios* e possibilidades de inferência (Vergnaud, 1990, p. 136; 1994, p. 46; 1998, p. 173). Destes componentes, os mais importantes são os invariantes operatórios – cujas principais categorias são os *teoremas-em-ato* e os *conceitos-em-ato* – 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 as situações. Teorema-em-ato é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; conceito-em-ato é uma categoria de pensamento considerada como pertinente (Vergnaud, 1996, p. 202). Se um esquema se aplica a uma classe de situações, ele deve conter invariantes operatórios relevantes a toda a classe. Conceitos-em-ato e teoremas-em-ato não são verdadeiros conceitos e teoremas científicos, mas são componentes essenciais dos esquemas e estes são a base do desenvolvimento cognitivo.

Possivelmente os invariantes operatórios são constituintes dos modelos mentais; integram também os modelos mentais. Acreditamos que os modelos mentais dos alunos são constituídos em grande parte por teoremas-em-ato que são relações causais e essas relações causais constituem os modelos causais que pretendemos investigar nesse estudo. No estudo aqui desenvolvido utilizamos, de forma integrada, os referenciais teóricos dos modelos mentais de Johnson-Laird e dos campos conceituais de Gérard Vergnaud. Essa integração decorre do fato de que, segundo Greca e Moreira (2002), “... enquanto os esquemas se mantêm como estruturas na memória de longo prazo, com os 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”.

Essa integração de referenciais permitiu, portanto, levar em conta aspectos de curto e de longo prazo relacionados à aprendizagem, no que se refere às estratégias cognitivas desenvolvidas pelo aluno para resolver uma situação problema. Desta forma, neste trabalho procuramos verificar se o aluno cria um modelo de trabalho e como esse modelo funciona, identificando os invariantes operatórios que se evidenciarem nesse processo.

Com base na análise do desempenho dos alunos em uma prova, abordando o conteúdo de ondas, de uma turma de Física 2, oferecida pelo Instituto de Física da Universidade de Brasília no 2º semestre letivo de 2002, foram selecionados seis alunos com o seguinte critério: dois de baixo desempenho, dois de médio desempenho e dois de alto desempenho. Esses alunos foram submetidos à uma entrevista semi-estruturada que consistiu de perguntas a serem respondidas, tratando dos principais conceitos do tópico “ondas” e da resolução de um problema sobre ondas estacionárias. As entrevistas foram gravadas em áudio e transcritas, gerando protocolos, que foram analisados à luz dos referenciais teóricos descritos acima.

A análise preliminar dos dados obtidos indica que os alunos, de maneira geral, parecem trabalhar com modelos mentais causais, embora não os identifiquemos. O sujeitos de alto desempenho demonstram maior habilidade em criar e utilizar tais modelos, no trato com a situação problemática. Nos parece que os modelos dos sujeitos de baixo e de médio desempenho são frágeis em termos do princípio da execução (Gutierrez e Ogborn, 1992). Em

outras palavras, os vínculos de consistência, de correspondência e de robustez, de uma forma geral não são satisfeitos ao mesmo tempo em uma tentativa de resolução da situação problemática.

Há evidências da utilização dos invariantes operatórios por parte dos sujeitos para dar conta da situação problemática em questão. Percebemos que os sujeitos cujos modelos parecem apresentar fragilidade em relação ao princípio da execução, são aqueles cujos invariantes operatórios (em especial os teoremas-em-ato) estariam distantes daqueles cientificamente aceitos e, portanto, não sustentariam a construção de um modelo mental eficiente na solução da situação problemática.

Assim, podemos sugerir que a resolução de uma situação problemática parece ser facilitada quando o aluno é capaz de construir um modelo mental adequado e eficiente para dar conta dela. Isto parece depender fortemente da disponibilidade, no repertório do aprendiz, de invariantes operatórios significativos, próximos daqueles cientificamente aceitos. Uma das primeiras tarefas do professor ao trabalhar um determinado campo conceitual, seria então a de promover a explicitação e o desenvolvimento dos invariantes operatórios dos alunos, no sentido de aproximá-los daqueles que são cientificamente aceitos. Tais resultados sugerem que o sucesso do aluno na tarefa de resolução de problemas dependeria da construção de um modelo mental (de trabalho) eficaz, o que implicaria na sua progressiva familiaridade com o campo conceitual em questão.

## Bibliografia

DE KLEER, J. e BROWN, J. S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In Gentner, D. and Stevens, A. L. (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, N J: Lawrence Erlbaum Associates.

EISENCK, M. W. e KEANE, M. T. (1994). *Psicologia Cognitiva: um manual introdutório*. Porto Alegre, RS: Artes Médicas. 490p.

GARNHAM, A. (1997). Representing information in mental models. In: Conway. M. A. (Ed.). *Cognitive models of memory*. Cambridge, MA: The MIT Press. 369p.

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

GUTIERREZ, R. e OGBORN, J. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, London, 14(2): 201-220.

JOHNSON LAIRD, P. N. (1983). *Mental Models*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

MOREIRA, M. A., GRECA, I., SOUSA, C. M. S. G., COSTA, S. S. C. (2001). *Resolução de Problemas em Física e Modelos Mentais*. Projeto de Pesquisa em andamento com apoio do CNPq.

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). [www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm).

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*, São Paulo, 22(2): 223-231.

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. *Recherches em 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 learning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. pp. 41-59.

Vergnaud, G. (1996) Algunas ideas fundamentales de Piaget em torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26(1): 195-207

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