

---

# MODELOS MENTAIS DE ELETROMAGNETISMO

---

*A. Tarciso Borges*

Universidade federal de Minas Gerais, Colégio Técnico

Belo Horizonte - MG

## **Resumo**

*Modelos mentais são empregados correntemente em diversas áreas do conhecimento. A diversidade de usos de tal construção envolve não apenas diferentes definições do conceito, mas também pressupostos e compromissos. Este trabalho discute os usos e pressupostos envolvidos no conceito de modelo mental em algumas áreas, e relata um estudo que procurou identificar os modelos mentais de eletricidade, de magnetismo e de eletromagnetismo usados por estudantes iniciando e concluindo o segundo grau, professores de física, engenheiros e profissionais de áreas relacionadas com eletricidade que não tiveram treinamento formal.*

*Foram identificados quatro modelos de eletricidade, cinco modelos de magnetismo e três modelos de eletromagnetismo. Os modelos de eletricidade destacam a natureza da corrente elétrica. Os modelos de magnetismo enfatizam dois aspectos: o que é que produz magnetismo em um ímã e como se dá a interação entre ímãs e outros objetos. Os modelos de eletromagnetismo explicam a origem do magnetismo em eletroímãs.*

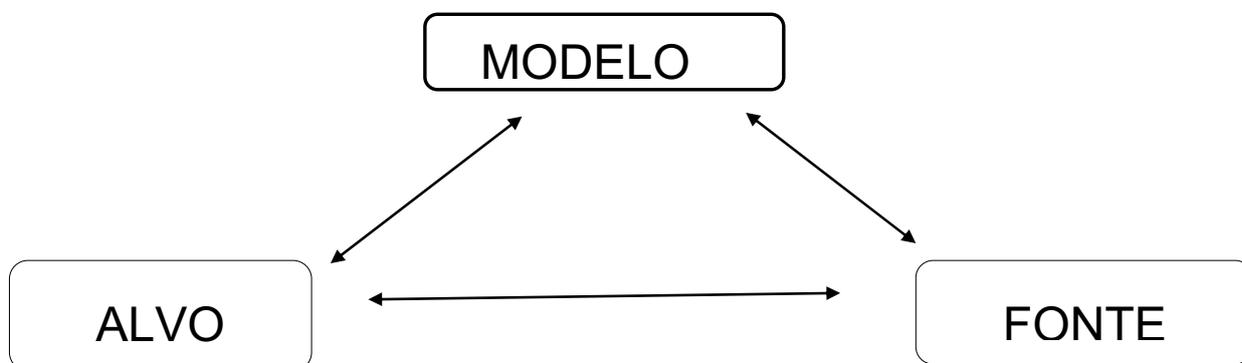
## **I. Introdução**

Ao longo dos últimos anos tem havido crescente interesse em torno de modelos, analogias e modelos mentais. Esse interesse se deve, em parte, aos sinais de esgotamento do programa de pesquisas de concepções alternativas e à necessidade de encontrar-se novos instrumentos para superar as conhecidas dificuldades de se ensinar e aprender Ciências. Por outro lado, ele emerge também da pesquisa sobre o desenvolvimento da expertise, tema muito estudado nas últimas duas décadas. De tal pesquisa brota a idéia de que o aprendizado de um especialista é muito lento e que a expertise surge de uma ampla base de dados acumulados ao longo de anos. As

habilidades de solucionar problemas ou de propor explicações sobre um estado de coisas ou um evento exibidas por peritos nos domínios correspondentes do conhecimento resultam da habilidade em estabelecer comparações entre uma situação-problema e padrões armazenados de experiências de aprendizagem anteriores. Atualmente é amplamente aceito que nós só podemos apreender o novo em termos daquilo que já conhecemos. As explicações que formulamos para as coisas que observamos ou imaginamos são tentativas de compreender um evento ou uma situação não familiar em termos de coisas com as quais estamos habituados, ou em termos de sistemas familiares de relações por meio de analogias.

Quando uma coisa é dita ser análoga à outra, implica que uma comparação entre suas estruturas é feita e a analogia é o veículo que expressa os resultados de tal comparação. Analogias são, portanto, ferramentas para o raciocínio e para a explicação (Johnson-Laird,1989). Um modelo pode ser definido como uma representação de um objeto ou uma idéia, de um evento ou de um processo. Por modelo aqui, estamos nos referindo à classe particular dos modelos analógicos. Não estamos interessados aqui em modelos matemáticos ou modelos materiais de escala. Da mesma forma que uma analogia, um modelo analógico implica na existência de uma correspondência estrutural entre sistemas distintos.

Na linguagem de modelos, o primeiro sistema, que é conhecido, é a fonte da analogia. O sistema desconhecido, que alguém tenta compreender por meio da analogia, é o alvo (veja a figura 1). O sistema fonte pode ser caracterizado como sendo formado de um número de entidades, concretas ou simplesmente imaginadas, que têm propriedades conhecidas, e por relações entre entidades e propriedades. Analogias são usualmente classificadas em analogias materiais e analogias formais (Black, 1962). Numa analogia material é o conjunto de entidades e propriedades que descrevem o sistema fonte que serve de base para a compreensão do sistema alvo. Numa analogia formal é uma estrutura abstrata de relações que serve de modelo para entender o domínio não familiar. A estrutura relacional que descreve o sistema fonte permite-nos



*Fig.1 - Relação esquemática entre modelo, sistema fonte e sistema alvo.*

construir uma representação para compreender o sistema desconhecido. Por exemplo, ao imaginar o átomo de Rutherford como um sistema solar em miniatura, o que interessa é o fato de que há um corpo massivo atraindo corpos menores que orbitam em torno daquele centro e a que força envolvida é central. A temperatura e a cor dos objetos, a constituição deles ou a quantidade e o tamanho relativo dos planetas são atributos que não interessam neste exemplo de analogia formal.

A relação entre analogia e modelo não é sem problemas, visto que existem diferentes posições a respeito. Para alguns, analogias e representações são construídos do mesmo tipo visto que envolvem tomar alguma coisa para representar uma outra. Nos dois casos há um mapeamento de uma um sistema em outro, isto é, uma transposição de uma estrutura de relações do sistema fonte para o sistema alvo. Essa é a idéia básica envolvida no conceito de representação e, portanto, no conceito lógico de modelo (veja Vosniadou e Ortony, 1989). Alguns autores começaram a usar o termo modelo mental para referir-se às analogias e modelos analógicos que as pessoas usam para entender certos conceitos e fenômenos físicos, como corrente elétrica (Gentner e Gentner, 1983). Por outro lado, simpatizantes da teoria de Johnson-Laird (1983), preferem reservar o termo modelo mental para descrever um tipo particular de representação mental (Brewer, 1987).

## **II. Modelos e modelos mentais**

Apesar de ser utilizado há pelo menos 30 anos, não existe uma definição consensual do que seja um modelo mental. O conceito de modelo mental disseminou-se a partir da publicação de dois livros, ambos com o título “Mental Models”, publicados em 1983. O primeiro deles, editado por Gentner e Stevens (1983) é uma coleção de contribuições a um seminário sobre o assunto. Nele várias visões do conceito são apresentadas de maneira mais ou menos implícita, no estudo de como o usuário interage com dispositivos e sistemas físicos. O segundo livro (Johnson-Laird, 1983) é um trabalho em que o autor procura explicar o raciocínio dedutivo e a compreensão de texto. Atualmente, o conceito de modelo mental é usado em áreas tão diversas quanto Filosofia, Educação, Inteligência Artificial e no estudo da interação Homem-Computador e de sistemas Homem-Máquina.

Uma caracterização simples de um modelo mental é que ele é um modelo que existe na mente de alguém. Dessa forma, só podemos falar a respeito de própria concepção do modelo mental de um usuário. Intuitivamente a idéia é simples: pensar envolve a criação e internalização de modelos simplificados da realidade. Entretanto, o conceito não pode ser considerado como unitário. Ao contrário, diferentes limitações e

pressupostos são impostos no significado do termo pelas diversas comunidades que o empregam.

Na Ciência Cognitiva, os modelos mentais são usados para caracterizar as formas pelas quais as pessoas compreendem os sistemas físicos com os quais interagem. Eles servem para explicar o comportamento do sistema, fazer previsões, localizar falhas e atribuir causalidade aos eventos e fenômenos observados (Norman, 1983). Na área de Supervisão e Controle de Sistemas, aceita-se que um modelo mental inclui conhecimento sobre o sistema a ser controlado, conhecimento sobre as perturbações prováveis de afetar o seu funcionamento e estratégias associadas com a tarefa de controle, que pode ser usado para fazer previsões sobre o comportamento e estados futuros do sistema, para determinar as causas de acontecimentos observados e para a realização de experiências de pensamento (veja Rouse e Morris, 1986).

A diversidade de usos e de pressupostos envolvidos no conceito de modelo mental pode ser entendido com o uso de um modelo analógico adaptado de Payne (1992). Tal modelo consiste de uma série de camadas, em que as camadas exteriores contêm completamente as camadas internas. Isto é, cada camada mais externa compartilha dos menos pressupostos que as camadas que ela contém e acrescenta outros. É como um ovo de páscoa que contém outro ovo que, por sua vez, contém outros ovos menores. No núcleo de tal sistema está a concepção de modelo mental que adota o menor dos pressupostos teóricos: a de que o comportamento de uma pessoa é melhor explicado em termos do conteúdo de sua mente. Isto é, em termos dos conhecimentos e crenças de tal pessoa, independente de quaisquer mecanismos mentais.

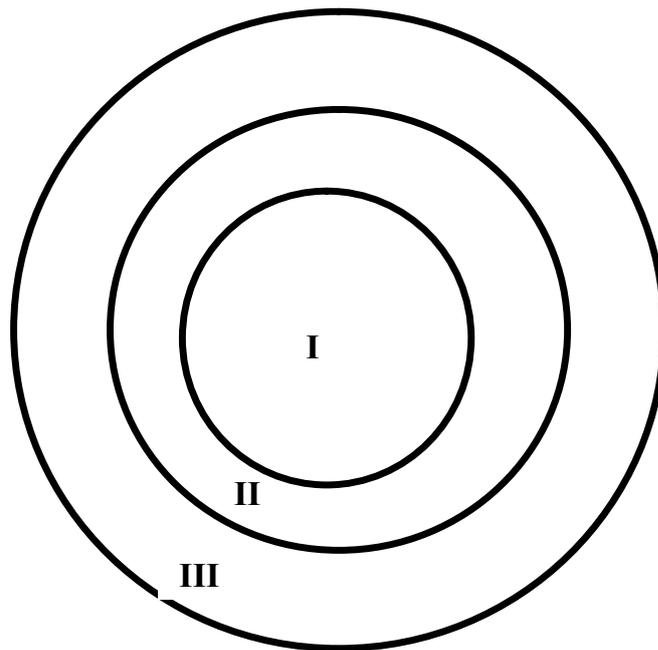
Esta posição é aceita de maneira geral e deu origem a todo um campo de estudo das origens e da natureza das crenças sobre o mundo físico, em lugar de centrar exclusivamente nas micro-estruturas cognitivas. Vários dos capítulos do livro de Gentner e Stevens (1983) e vários trabalhos sobre concepções alternativas de estudantes conduzidos durante as duas últimas décadas compartilham tais pressupostos. Em todos eles, as analogias têm um papel importante, visto que eles supõem que os modelos mentais são construídos por analogia com sistemas mais familiares.

Num outro nível acrescenta-se o pressuposto de que uma pessoa faz inferências e previsões manipulando seus modelos mentais, numa forma de simulação mental. Por exemplo, segundo de Kleer e Brown (1981) ao fazer previsões ou explicar o funcionamento de um sistema a pessoa simula mentalmente uma estrutura simbólica de componentes interligados. Os tipos de componentes que formam o modelo e a maneira como eles estão conectados contribuem para o resultado. Tal processo de simulação mental consiste em "rodar" o modelo, isto é, o usuário atribui ao sistema um estado inicial e imagina as sucessivas transformações no estado do sistema até chegar a um resultado final. Portanto, nessa visão o que distingue um modelo mental de

conhecimento em geral, é que o modelo pode ser rodado na imaginação para produzir descrições do estado de um sistema, explicações para o seu comportamento e produzir previsões de eventos e estados futuros. Deve ser observado que estes autores adotam uma abordagem sistêmica em que os modelos mentais são construídos "de baixo para cima", isto é, da observação da estrutura e composição do sistema para construir um modelo de como ele funciona. Esta técnica de modelamento não se aplica com facilidade a certos domínios e a sistemas complexos.

Num nível mais externo, supõe-se que os modelos mentais são estruturalmente análogos aos sistemas que eles representam e que os mesmos tipos de modelos podem ser construídos através da percepção, da imaginação ou de leitura. A teoria de Johnson-Laird e compreensão de texto e raciocínio ocupa este lugar. De acordo com a teoria de modelos mentais de Johnson-Laird, nós construímos modelos mentais de eventos e estados de coisas no mundo empregando processos mentais tácitos. Nossa habilidade em dar explicações está intimamente relacionada com nossa compreensão daquilo que é explicado, e para compreender qualquer fenômeno ou estado de coisas, precisamos ter um modelo funcional dele. O ponto chave da teoria é o de que o raciocínio humano se baseia em modelos mentais. A concepção de modelo mental de Johnson-Laird deriva da noção de um modelo introduzida por Craik em 1943 (veja Johnson-Laird, 1983) para explicar como um organismo poderia fazer uso de um modelo interno do mundo para pensar sobre ele, tomar decisões, usar o conhecimento de situações passadas para lidar com o presente e o futuro, e experimentar ações mentalmente antes de realizá-las na prática.

Tais modelos são estruturalmente análogos aos processos que acontecem no mundo exterior, embora sejam incompletos e não representem diretamente a realidade. Entretanto eles capacitam cada sujeito a fazer predições e inferências, a compreender fenômenos e eventos, a atribuir causalidade aos eventos observados, a tomar decisões e controlar a execução delas. Alguns desses modelos são adquiridos apenas através de transmissão cultural ou ensino, enquanto que outros são adquiridos da interação cotidiana com outras pessoas e com o mundo. Os modelos mentais são específicos de cada situação, isto é, não existe um modelo mental de uma árvore genérica, mas apenas de árvores particulares. Os modelos mentais de Johnson-Laird diferem de outras concepções de modelo mental com relação a este aspecto. Enquanto que os primeiros correspondem a representações episódicas que são produzidas por cada pessoa no momento de uso, as outras concepções de modelos mentais envolvem representações de conhecimento geral, que existem na memória de longo-termo dos usuários (veja Brewer, 1987). Há, entretanto, concordância quanto ao fato de modelos mentais são inacurados, incompletos e instáveis, o que torna o estudo deles difícil.



*I - O comportamento de uma pessoa é melhor explicado em termos do conteúdo de sua mente, dos conhecimentos e das crenças de tal pessoa, independente de quaisquer mecanismos mentais. (Gentner e Stevens, 1983; Shipstone, 1985; Osborne, 1983)*

*II - Acrescenta-se o pressuposto de que uma pessoa faz inferências e previsões manipulando seus modelos mentais, numa forma de simulação mental. (de Kleer e Brown, 1981; Williams, Hollan & Stevens, 1983)*

*III - Supõe que os modelos mentais são estruturalmente análogos aos sistemas que eles representam e que os mesmos tipos de modelos podem ser construídos através da percepção, da imaginação ou de leitura. (Johnson-Laird, 1983)*

*Fig. 2 - Um modelo das concepções de modelo mental*

Rouse e Morris (1986) fizeram uma ampla revisão das definições de modelo mental em uso nas áreas de sistemas homem-máquina e de interação humano-computador. Eles desenvolveram um sistema de categorias dos propósitos atribuídos aos modelos mentais. Este sistema reflete os pontos de consenso sobre o conceito naquelas áreas e capturam o significado de um sistema para um usuário. As categorias se relacionam a aspectos diferentes dos sistemas sob estudo e respondem a cinco questões que descrevem e explicam o sistema e seu comportamento:

Como é o sistema?	<i>(Descrever o sistema)</i>
De que o sistema é formado?	<i>(Descrever a estrutura do sistema)</i>
Como ele funciona?	<i>(Explicar como funciona)</i>
O que ele está fazendo?	<i>(Prever ou Explicar o estado do sistema)</i>
Para que ele serve?	<i>(Descrever o propósito do sistema)</i>

Levando-se em conta tais questões, pode-se dizer que "Modelos mentais são os mecanismos através dos quais os humanos são capazes de gerar descrições do propósito e forma de um sistema, explicar o funcionamento de um sistema e os seus estados observados e prever os estados futuros" (Rouse e Morris, 1986).

Uma outra definição similar, devida a Carrol e Olson (1988) é a de que um modelo mental é "uma estrutura rica e elaborada que reflete a compreensão do usuário do que o sistema contém, de como ele funciona e de por que ele funciona daquela forma. Ele pode ser imaginado como conhecimento suficiente sobre um sistema que permite ao usuário experimentar ações mentalmente antes de executá-las".

Tais definições sugerem que:

- A. Um modelo mental é diferente de uma representação de informações isoladas sobre o sistema. ela é uma estrutura rica e elaborada.
- B. Um modelo mental representa diferentes tipos de informação: o que o sistema contém, como ele funciona e por que se comporta de uma determinada maneira.
- C. Um modelo mental, para algumas pessoas pelo menos, é diferente de outras formas de conhecimento pois ele pode ser 'rodado' com entradas exploratórias, de forma a imaginar o resultado.
- D. Um modelo mental envolve um certo grau de sistematicidade e coerência.

Este último ponto tem que ser tratado com cuidado pois o que parece sistemático e coerente para um especialista, pode não parecê-lo para um leigo ou criança, e vice-versa. Nas várias áreas mencionadas a pesquisa sobre modelos mentais suporta tanto essa idéia de um modelo como um todo coerente e sistemático, bem como a idéia de que o usuário pode manter múltiplas representações de um mesmo sistema, e usá-las de maneira aparentemente incoerente. O debate sobre esta questão parece longe de ser conclusivo, visto que a pesquisa em diferentes áreas produziu evidências suportando ambas as posições (veja Vosniadou e Brewer; 1992, para uma discussão desse ponto).

Em vários trabalhos de Kleer e Brown (1981 e 1983) desenvolveram um modelo de como alguém compreende máquinas e dispositivos eletrônicos. Eles partem

da noção intuitiva de simular o comportamento do sistema na imaginação. O resultado desse processo manifesta as relações de causa e efeito envolvidas no funcionamento do sistema. Cada sistema é suposto mudar seus estados ao longo do tempo em saltos discretos. Ele é formado de um conjunto de partes, cujo comportamento pode ser modelado. O comportamento do sistema deriva do funcionamento de suas partes e de suas interações. Este é um processo recursivo, pois cada parte de um sistema pode ser modelada como um subsistema, que pode ser imaginada da mesma forma. Isto é, cada subsistema pode ser visto como um sistema num nível mais detalhado. Tal visão sistêmica é muito adequada para determinadas situações, mas parece inadequada em outras, por exemplo, sistemas complexos e sistemas que envolvem transformações, onde não é simples identificar os componentes que o formam.

### **III. Modelos mentais e aprendizagem**

Muito do nosso raciocínio consiste em imaginar como um dado estado de coisas desdobra-se em uma série de outros eventos, o que pode ser entendido em termos de nossos modelos mentais. Um modelo mental é conhecimento sobre uma determinada questão ou domínio que usamos para pensar sobre eles por meio de simulação mental. Tais modelos têm a característica de capacitar-nos a realizar ações inteiramente na imaginação. Isso permite-nos internalizar as representações que criamos para as coisas e estados de coisas no mundo e processá-los como se fossem externos. Várias pesquisas têm mostrado que as inferências que alguém faz sobre uma determinada questão depende dos modelos adotados.

Gentner e Gentner (1983) identificaram dois modelos de eletricidade usados por uma população de estudantes americanos: a analogia com um circuito hidráulico e a analogia com objetos em movimento:

- O primeiro trata baterias como reservatórios de água e pode explicar satisfatoriamente a associação de baterias em série ou em paralelo. Os resistores elétricos são imaginados como constrições nos canos. Tal idéia implica em uma redução na taxa de fluxo em toda combinação de resistores, independentemente de como eles são ligados.
- O segundo modelo, objetos em movimento, é mais adequado para explicar a associação de resistores em circuitos elétricos. De fato, indivíduos que adotam tal modelo tiveram desempenho superior em tais problemas. Nesse modelo, a bateria funciona como uma bomba, forçando os objetos a movimentarem-se pelo circuito, enquanto que os resistores são imaginados como obstáculos dificultando a passagem dos objetos pelo circuito. As explicações desse segundo modelo para a associação de resistores conforma com o conhecimento científico.

O estudo de Gentner e Gentner (1983) suporta a idéia de que os modelos mentais dos estudantes sobre um certo domínio influenciam a maneira como eles tratam os problemas propostos naquela área.

Num outro estudo, Kieras e Bovair (1984) investigaram o papel de um modelo mental ao lidar com um sistema simples. Para eles, o termo modelo mental refere-se à compreensão de como um dispositivo funciona em termos de sua estrutura e processos internos. Existem duas posições conflitantes sobre o papel de um modelo mental (Kieras e Bovair; 1984):

- A visão predominante em Psicologia é que ter um modelo ajuda uma pessoa a entender como uma máquina ou sistema funciona. Entretanto, como Duit (1991) aponta, a maioria dos estudos até aquela data falharam em produzir evidências positivas acerca disso.
- A visão oposta de que ter um modelo é desnecessário é predominante na área ligada à produção de equipamentos, como pode ser visto nos manuais técnicos. Estes, em geral, apresentam ao usuário informações sobre 'como fazer', ou seja como proceder para que o equipamento funcione, sem preocupar-se com os princípios básicos de funcionamento.

No experimento de Kieras e Bovair (1984), dois grupos tinham que operar comutadores e interruptores para fazer funcionar um equipamento, cujo circuito não era visível. Um grupo recebeu instrução adicional sobre o funcionamento do sistema baseado num modelo dele. Ambos os grupos aprenderam os procedimentos para operar o sistema. Alguns desses procedimentos foram projetados para serem ineficientes, de modo que os participantes no estudo pudessem pensar em modos alternativos de realizá-los. O desempenho do primeiro grupo foi melhor em todas as situações, gastando menos tempo para realizar as tarefas e inventando procedimentos mais eficientes em alguns casos.

Tal estudo sugere que o modelo do sistema permitiu aos indivíduos do primeiro grupo inferir como operá-lo corretamente. Ao explicar como o sistema funciona, os membros do primeiro grupo fizeram-no em termos do modelo do sistema, enquanto que os membros do segundo grupo fizeram-no em termos de aspectos superficiais. Dois pontos a respeito do estudo de Kieras e Bovair são interessantes para a educação. Em primeiro lugar, pessoas instruídas com a ajuda de um modelo do sistema mostraram sensível ganho em desempenho, inclusive ao imaginar alternativas e procedimentos mais eficientes. Em segundo lugar, ter um modelo do sistema ajuda os indivíduos a inferir o funcionamento do sistema e a explicar o seu funcionamento em termos do modelo.

Explorando tais conseqüências, Mayer (1989, 1992) verificou que estudantes que aprenderam com um modelo, na forma de diagrama e texto, enfatizando

as principais partes e ações num sistema, bem como as relações causais entre elas, conseguiram reter mais informação conceitual e gerar mais soluções criativas para novos problemas quando comparados com estudantes que aprenderam sem o modelo. Segundo Mayer, a apresentação de um modelo conceitual ajuda os estudantes a construírem melhores modelos mentais do domínio, organizando e integrando o novo conhecimento. Para cumprir tal papel, um modelo icônico deve ter algumas características: ser completo, isto é, representar todos os elementos estruturais e exibir todas as relações entre eles para que possa ser usado produtivamente pelo estudante. Além disso, o nível de detalhe e as relações, estruturas e ações das partes do modelo devem ser adequados ao nível de compreensão do estudante. O modelo deve ser claro a respeito do seu escopo e limitações para representar o sistema alvo e usar um vocabulário adequado aos estudantes. Termos novos devem ser cuidadosamente explicados.

Um aspecto importante é que a habilidade de um indivíduo em explicar e prever eventos e fenômenos que acontecem a sua volta evolui à medida em que ele adquire mais experiência com a área e também com a instrução. Essas mudanças refletem aquilo que o indivíduo aprendeu e traduzem a adoção de modelos mentais mais sofisticados dos domínios envolvidos (Borges, 1996). Do ponto de vista das teorias de modelos mentais, aprender implica em construir modelos mentais mais produtivos para pensar e falar sobre um sistema. A ênfase é, pois, no conhecimento que cada sujeito tem de um sistema ou de um fenômeno e na aprendizagem que ocorre. Tal perspectiva contrasta com a pesquisa tradicional em concepções alternativas dos aprendizes, que enfoca os erros e enganos cometidos por eles em certas situações.

Numa recente análise de estudos das concepções de estudantes acerca de diversos tópicos de Ciências, Driver e outros (1994) apontam a existência de tendências similares na evolução de tais concepções. Em particular, eles apontam que as concepções dos estudantes tendem a evoluir através da construção de novas entidades para a descrição de eventos e fenômenos e através de desenvolvimento de estratégias de raciocínio. O estudo que conduzi sobre modelos mentais de eletromagnetismo, envolvendo professores de física, engenheiros, estudantes e trabalhadores (Borges, 1996) suporta a mesma idéia de progressão.

#### **IV. Estudo dos modelos mentais de eletromagnetismo**

O estudo aqui relatado tinha como objetivo identificar os modelos mentais de eletromagnetismo entre pessoas com diferentes níveis de escolaridade e experiência com eletricidade e descrever as mudanças em tais modelos à medida que os usuários adquirem conhecimento e experiência com a área. A concepção de modelo mental

adotada neste estudo baseia-se nas concepções de Johnson-Laird (1983) e de Carrol e Olson (1988); é mais ampla do que esta última pelo fato de não estarmos interessados em modelos de um sistema ou dispositivo, por exemplo, modelos de ímã ou de eletroímã, mas em modelos conceituais, no sentido que Johnson-Laird atribui ao termo. Entretanto, difere desta também pelo fato de estarmos interessados em representar a experiência fenomenológica e conhecimento conceitual dos sujeitos, ao passo que os modelos mentais de Johnson-Laird têm sido interpretados como construções momentâneas, criadas no momento que o usuário necessita delas (Brewer, 1987; Vosniadou e Brewer, 1992).

Indivíduos de seis grupos trabalharam com várias situações experimentais simples envolvendo eletricidade, magnetismo e eletroímãs. Cada um fazia previsões sobre o resultados de cada atividade e explicava as razões que o levavam a esperar por tal resultado, depois realizava o experimento e, por fim, explicava o acordo ou desacordo entre predição e resultado. Esta seqüência de Previsão, Observação e Explicação é amplamente reconhecida como uma forma eficaz de produzir informações sobre os modelos mentais usados pelos indivíduos (White e Gustone, 1992). A seqüência de questões em cada atividade começa com questões gerais que procuram determinar se os sujeitos reconhecem os objetos que compõem a atividade, para que servem ou para que são usados, e por que são usados da forma como o são. A seguir são apresentadas questões que exigem maior reflexão. Esta estruturação da entrevista espelha os aspectos considerados relevantes num modelo mental, conforme as definições de Rouse & Morris e de Carrol & Olson, discutidas anteriormente.

A entrevista consistiu de uma introdução na qual se procuravam informações gerais sobre cada sujeito, informações sobre trabalho e educação, informações sobre condições sócio-econômicas do entrevistado. A finalidade da entrevista e como ela se daria eram explicados a cada um. Esta parte inicial não foi gravada. Depois desses esclarecimentos iniciais e do consentimento do entrevistado para gravar e usar o material, ele começava falando sobre seu trabalho e sobre sua educação. Seguia um conjunto de situações relacionadas com eletricidade, outro com magnetismo e um terceiro conjunto sobre eletromagnetismo. A duração das entrevistas variou de 35 a 90 minutos. Um grupo de entrevistas usado na fase de testes e adaptação do instrumento de pesquisa não foi incluído no estudo relatado.

A construção do instrumento de pesquisa foi orientada pelas questões que um modelo mental pode responder: Como é o sistema? Como funciona? O que faz? Para que serve? Em vista da heterogeneidade dos grupos em termos de escolaridade e experiência, apenas questões simples e ao mesmo tempo desafiadoras, mesmo para aqueles que tinham passado por cursos de eletromagnetismo na universidade, podiam ser usadas. O apêndice 1 mostra as questões usadas a respeito de eletromagnetismo.

Os grupos de indivíduos que participaram do estudo foram:

- 1) PAL - 09 estudantes da 1ª série do segundo grau de uma escola da rede privada de Belo Horizonte.
- 2) TAL - 09 estudantes da 3ª série do segundo grau da mesma escola. Eles tinham estudado eletricidade e eletromagnetismo no ano anterior.
- 3) TAC - 10 alunos da 3ª série de cursos técnicos relacionados com eletricidade.
- 4) TEC - 10 trabalhadores que trabalham em áreas relacionadas com eletricidade, sem instrução formal no assunto. Entre eles estão auxiliares de laboratório e eletricitas práticos. A maior parte deles não completou a educação primária.
- 5) PRO - 11 professores de física e eletricidade.
- 6) ENG - 07 engenheiros eletricitas com mais de dois anos de graduação.

Tais grupos diferem em termos do nível de instrução formal em eletricidade ou eletromagnetismo, e em termos de experiência com eletricidade.

- Grupos PAL e TEC sem instrução formal em eletromagnetismo.
- Grupos TAL e TAC estudaram eletromagnetismo na escola de segundo grau.
- Grupos PRO e ENG estudaram eletromagnetismo na universidade.

## **V. Análise dos resultados**

Os resultados são apresentados e analisados separadamente para cada uma das áreas estudadas. Foram identificados 4 modelos de eletricidade, 5 modelos de magnetismo e 3 modelos para explicar o surgimento de magnetismo num eletroímã. As respostas dos entrevistados a cada uma das questões foram inicialmente categorizadas, gerando um conjunto de concepções específicas de cada situação. Os modelos foram identificados a partir de tal conjunto de concepções, de forma que eles explicam porque os sujeitos respondem a certas questões de uma forma e não de outra. É importante deixar claro que tais modelos tratam de aspectos particulares relacionados com eletricidade e magnetismo envolvidos nas atividades propostas aos entrevistados. Não há como garantir que eles possam explicar as respostas que os sujeitos dariam se fossem apresentados a outras situações ou se fossem entrevistados novamente, uma vez que os modelos mentais evoluem, são incompletos e instáveis. Isto corresponde apenas a reconhecer as oportunidades de aprendizagem proporcionadas pelo próprio estudo e pelo fato de que a interação dos sujeitos com diferentes questões e formatos de pesquisa podem facilitar a recuperação de outras maneiras de pensar sobre as situações.

## **V.1 - Modelos de eletricidade**

Diferentemente de pesquisas anteriores (Shipstone, 1985; Osborne, 1983) que enfatizaram a forma de conexão de componentes elétricos num circuito, aqui a preocupação é de outra ordem. Os modelos que descrevo a seguir são modelos relacionados à natureza da corrente elétrica em circuitos simples de corrente contínua.

### **a) Eletricidade como Fluxo**

Representa corrente elétrica como "eletricidade" fluindo através dos fios de um circuito. Termos como "energia", "corrente" ou "voltagem" são pouco diferenciados e são usados como equivalentes. A bateria é um recipiente passivo cuja função é apenas armazenar a 'substância' que se move através do circuito e é consumida nas lâmpadas ao produzir luz. A idéia de que existe algo, de natureza indefinida, movimentando-se pelo circuito é usada em maior ou menor grau por praticamente todos os sujeitos. Isso parece vir da necessidade que as pessoas têm de postular a existência de uma ligação material entre a fonte das ações e os objetos sobre os quais ela atua.

### **b) Eletricidade como Correntes Opostas**

Assume a existência de dois tipos diferentes de eletricidade - positiva e negativa - e reconhece que pilhas e lâmpadas são componentes bipolares. Cada corrente sai por um terminal da pilha e percorre o circuito em alta velocidade, encontrando-se na lâmpada, onde produzem luz e cancelam-se. Um circuito fechado é necessário para que a lâmpada acenda. A pilha ainda é vista como um reservatório de eletricidade/energia, que se desgasta com o tempo. Corrente e energia não são conceitos diferenciados e são usados indistintamente. Implicitamente, o modelo supõe que a corrente é formada de outras partes menores. Alguns sujeitos mencionam prótons e elétrons.

### **c) Eletricidade como Cargas em Movimento**

É o principal produto do ensino de eletricidade a nível secundário. É um modelo microscópico, em que elétrons ou prótons movem-se de um terminal da pilha para o outro através de um circuito. A pilha fornece energia para as partículas de forma a produzir uma corrente circulando pelo circuito. Tal modelo envolve o uso de novas entidades e de analogias mecânicas e antropomórficas para explicar transformações de energia e a natureza da resistência elétrica. As pessoas que usam este modelo descrevem o funcionamento de um circuito usando uma seqüência temporal de eventos. Isso é similar ao raciocínio seqüencial (Closset, 1983; Rozier e Viennot, 1991) e ao modelo de dispositivos (deKleer e Brown, 1983), também encontrado em outras áreas do ensino de Física (Driver et al, 1994).

#### d) Modelo Científico

O funcionamento do circuito é normalmente descrito em termos de um vocabulário mais funcional, envolvendo transformações de energia, voltagens e sinais. Entretanto os indivíduos, usando tal modelo, podem dar explicações mais detalhadas quando perguntados. A corrente consiste de cargas em movimento sob uma diferença de potencial que cria um campo elétrico no interior do circuito. Como no modelo anterior, ela apenas circula num circuito fechado e é conservada. Quando uma mudança é introduzida num ponto, por exemplo, abrir ou fechar uma chave ou acrescentar uma lâmpada, uma “perturbação” elétrica se propaga pelo circuito estabelecendo uma nova situação estacionária.

A tabela 1 mostra a distribuição de modelos dentre os grupos. Em alguns casos não foi possível identificar modelos individuais devido a insuficiências ou inconsistências nas respostas, ou porque tais pessoas parecem ter mudado de modelo no curso da entrevista. Tais casos estão agrupados na categoria de “modelos mistos”. A tabela exhibe claramente uma tendência de uso de modelos mais elaborados com o nível de instrução, confirmando observações anteriores acerca dos modelos de eletricidade (Shipstone, 1985; Osborne e Freyberg, 1985). Tal tendência foi encontrada também com relação aos modelos de magnetismo e de eletromagnetismo, conforme as tabelas 2 e 3. Alguns dos modelos encontrados em pesquisas anteriores, por exemplo o 'sharing model' de Shipstone (1985) ou o modelo de corrente constante de Kärqvist (1985) não foram encontrados neste estudo. A razão para isso é que devido à heterogeneidade da população do estudo, apenas situações simples puderam ser usadas. Por outro lado, tais modelos só são necessários para explicar o funcionamento de circuitos mais complexos.

Tabela 1 - Distribuição de modelos de eletricidade pela população.

Eletricidade como	Fluxo	Correntes Opostas	Cargas em Movimento	Científico	Misto
Técnicos	03	02	03	—	02
Estudantes do 1º Ano	03	04	01	—	01
Estudantes do 3º Ano	—	01	05	02	01
Est. Curso Técnico	—	01	06	03	—
Engenheiros	—	—	04	03	—
Professores	—	—	03	07	01
Total	06	08	22	15	05

## **V.2 - Modelos de magnetismo**

Dois aspectos são considerados importantes para a identificação dos modelos de magnetismo: o que produz magnetismo num ímã, isto é, qual a natureza do magnetismo, e o como se dá a interação magnética entre ímãs e outros objetos.

### **a) Magnetismo como atração**

Tal modelo consiste de conhecimento prático ou fenomenal de que ímãs atraem objetos próximos e que isso é uma propriedade intrínseca deles. As pessoas que usam tal modelo não mencionam entidades ou mecanismos para explicar os fenômenos magnéticos. Elas apelam para atributos internos dos ímãs ou dos objetos que são atraídos, por exemplo, a "energia" ou a "força" do ímã. Tais pessoas não distinguem atração magnética de repulsão, nem reconhecem a existência de pólos nos ímãs.

### **b) Magnetismo como nuvem (ou área de influência)**

Tal modelo acrescenta que a ação dos ímãs se manifesta dentro de uma região limitada de influência. Objetos dentro daquela região são atraídos, enquanto que objetos que não são atraídos estão fora do alcance do ímã, isto é, do "campo magnético". Tais pessoas referem-se ao padrão de limalha de ferro espalhada em torno de um ímã como o campo magnético dele. O magnetismo é causado pela organização interna dos átomos e moléculas segundo arranjos especiais - um objeto está magnetizado quando seus átomos estão ordenados. O campo magnético é descrito como uma nuvem ou como uma atmosfera envolvendo os corpos magnetizados. Embora as pessoas falem em pólos magnéticos, eles não entram nas suas explicações.

### **c) Magnetismo como eletricidade**

Inclui mecanismos para explicar a atração magnética, baseado em cargas elétricas. O magnetismo é devido à atração entre cargas opostas. Os pólos são regiões que contém cargas opostas - positiva ou prótons em um deles e negativa ou elétrons no outro. A fonte desse modelo é a noção de um corpo eletrificado e seu propósito é o de explicar a existência de pólos distintos nos objetos magnetizados e a indução de magnetismo em certos objetos. Leva à predição de que todos os condutores elétricos são atraídos por um ímã, embora alguns saibam "por experiência" que certos metais não são atraídos.

### **d) Magnetismo como polarização elétrica**

Trata-se de um refinamento do modelo anterior. Os fenômenos magnéticos são explicados supondo-se que ocorre uma separação de cargas elétricas nos objetos

envolvidos, dando origem aos pólos. Nos ímãs isso é permanente, enquanto que em objetos metálicos tal "imantarão" é temporária. Em geral, supõe-se que o campo magnético atua sobre os átomos ou moléculas girando-os de modo que se alinhem com o campo. Com isso formam-se camadas alternadas de carga positiva e negativa. Isso é difícil de ser feito em determinados materiais, mas campos magnéticos intensos poderiam atrair metais como cobre e alumínio, tal como acontece no caso elétrico, em que materiais não condutores podem tornar-se condutores na presença de um campo suficientemente intenso.

### **e) Científico**

A interação direta entre pólos é substituída pela ação do campo. O magnetismo existe a nível microscópico como resultado do movimento de cargas elétricas ou devido à existência de ímãs elementares. Muitas vezes o modelo não é completamente estruturado, porque não é claro como ocorre interação entre o campo e os átomos de um material, especialmente para os estudantes. É importante ter em mente que modelos mentais não são estruturas acabadas, claras e coerentes. A idéia de micro-correntes circulando dentro dos ímãs e materiais ferromagnéticos é a causa mais frequentemente citada para a existência de magnetismo.

A tabela 2 mostra a distribuição de tais modelos entre a população. Tal como no caso dos modelos de eletricidade há uma clara tendência de usar-se modelos mais sofisticados com o nível de instrução, embora poucas pessoas usem o modelo científico, especialmente entre os estudantes secundários que já tiveram um primeiro curso de eletromagnetismo. Assim, o modelo magnetismo como atração consiste puramente de conhecimento fenomenológico de que ímãs atraem certos objetos. O modelo seguinte leva em conta o espaço em volta do ímã. Em nenhum deles há referências a entidades invisíveis ou abstratas para explicar fenômenos magnéticos. Nos dois modelos baseados em eletricidade, há a menção explícita de entidades invisíveis, seja eletricidade positiva e negativa ou elétrons e prótons. A interação magnética se dá à distância, embora alguns sujeitos falem frequentemente em ação do campo. Finalmente, deve-se notar que no caso dos modelos de magnetismo, há um número maior de modelos mistos. Isso explica-se pelo fato de que cada modelo deveria conter dois tipos de informação, a saber o que causa o aparecimento de magnetismo nos ímãs e como se dá a interação magnética. Na maioria dos casos de modelos mistos, modelos distintos eram usados para explicar os dois aspectos.

### V.3 - Modelos de eletromagnetismo

Estes modelos se referem ao funcionamento de eletroímãs e à origem do magnetismo neles. Foram usados dois eletroímãs - um feito de fio encapado e o outro de fio esmaltado. Tais fios estavam enrolados em torno de um núcleo que era ou de aço ou de ferro. Os modelos a seguir procuram explicar o comportamento dos eletroímãs e a origem do magnetismo neles.

Tabela 2 - Distribuição dos modelos de magnetismo

Magnetismo como	Atração	Área de Influência	Eletricidade	Polarização Elétrica	Científico (Campo)	Misto
Técnicos	05	03	01	—	—	01
Estudantes	03	02	02	—	—	02
Estudantes	—	01	03	02	02	01
Est. Curso	—	01	01	03	03	02
Engenheiros	—	01	—	01	04	01
Professores	—	—	01	01	07	02
Total	08	08	08	07	16	09

#### a) Fusão entre Eletricidade e Magnetismo

Trata-se de um conjunto de noções que não distinguem fenômenos elétricos de magnéticos. O núcleo do eletroímã é, normalmente, tomado como sendo um ímã e é necessário para que o eletroímã funcione. As pessoas nesse grupo enfrentam muitas dificuldades para fazer previsões e explicar o seu comportamento do eletroímã e, freqüentemente, ocorrem contradições entre suas previsões e os resultados dos experimentos. Suas respostas são redescritões dos eventos observados. Talvez fosse melhor chamar a este grupo de 'sem modelo', visto que este conjunto de noções não constitui um modelo no sentido usado neste trabalho. Entretanto, como o objetivo é estudar como os modelos individuais evoluem, preferimos considerá-lo como um proto-modelo inicial.

#### b) Eletricidade no Núcleo

O eletroímã também só funciona quando tem um núcleo que se magnetiza quando uma corrente elétrica circula por ele, ou quando a polaridade da pilha é transferida para o núcleo, encostando-o nos terminais da pilha. O outro processo de produção de magnetismo envolve uma corrente circulando pelo núcleo. Portanto, o

núcleo deve ser condutor elétrico e deve haver contato elétrico entre o fio do enrolamento e o núcleo. Um eletroímã feito com fio encapado não deve funcionar. Para explicar a magnetização residual do núcleo, as pessoas supõem que um resto de corrente ainda circula depois que a pilha é desligada do circuito, como a água que fica numa mangueira quando se fecha a torneira.

### c) Modelo Científico ou Eletrodinâmico

É caracterizado pela idéia de que uma corrente elétrica sempre cria um campo magnético em torno do condutor: o eletroímã é visto como um ímã temporário, que pode ser controlado através da corrente, mesmo quando não há um núcleo sólido ou quando ele não conduz eletricidade. As pessoas que usam tal modelo explicam sem problemas o seu funcionamento e comportamento.

A tabela 3 mostra a distribuição desses modelos entre a população do estudo. A maior parte dos que estudaram eletromagnetismo na universidade e quase metade dos estudantes do terceiro ano secundário reconhecem que toda corrente elétrica cria um campo magnético em torno de si. O restante dos alunos que já tinham estudado o assunto na escola secundária adotaram o modelo de eletricidade no núcleo, embora alguns falem em campo magnético. Não pode ser esquecido que nas etapas anteriores da entrevista, tais sujeitos interagiram com ímãs e objetos que apresentam comportamento magnético. De fato, os resultados sobre magnetismo mostram que estudantes da primeira série e técnicos eram menos familiarizados com magnetismo do que com eletroímãs.

Tabela 3 - Distribuição dos modelos de eletromagnetismo

Eletromagnetismo como	Fusão de Eletricidade e Magnetismo	Eletricidade no Núcleo	Científico	Misto
Técnicos	03	04	01	02
Estudantes do 1º	05	03	—	01
Estudantes do 3º	—	05	04	—
Estudantes Curso	—	05	05	—
Engenheiros	—	—	06	01
Professores	—	02	08	01
Total	08	19	24	05

## VI - Implicações

Os resultados descritos acima permite-nos sugerir que um indivíduo começa com modelos simples que representam apenas aspectos parciais de um fenômeno ou de um sistema (Gilbert & Boulter, 1995). Tais modelos são adquiridos do contato com outras pessoas, pois estão disseminados na cultura e na linguagem (Vosniadou & Brewer, 1992), e da interação direta com o ambiente (Norman, 1983). Tais modelos simples são testados e reforçados em diversas ocasiões na vida dos indivíduos. Eles são formados por estruturas simples que permitem ao sujeito prever e explicar muitas das observações feitas na vida cotidiana de maneira mais ou menos direta, além de facilitar a comunicação no dia a dia. Tais modelos iniciais podem vir a ser refinados com o tempo, em maior ou menor grau dependendo do envolvimento e interesse do sujeito por problemas naquele domínio. Por exemplo, quando a pessoa é exposta a uma instrução deliberada, o conhecimento assimilado interage com os modelos existentes para produzir novos modelos. Estes apresentam um vocabulário mais rico e empregam entidades novas para descrever e explicar eventos no domínio em questão. De qualquer forma, para que o indivíduo venha a adquirir modelos próximos dos modelos consensuais é necessário muito tempo e esforço de sua parte.

A posição adotada neste estudo é a de que adquirir uma compreensão científica de um fenômeno ou sistema físico consiste em construir modelos mentais dele, que possa ser 'rodado' na imaginação para gerar explicações e descrições do comportamento e estado do sistema. Tais modelos é que permitem ao sujeito fazer previsões e atribuir causalidade aos eventos e fenômenos observados. Modelos mais simples são adquiridos da interação dos sujeitos com o mundo e com outras pessoas e, em geral, são baseados em esquemas gerais aplicáveis a várias situações, não apenas de eletricidade ou de magnetismo. Não é sem razão que os modelos mais simples revelam formas de raciocínio aplicáveis a um grande número de sistemas (veja Andersson, 1986). Não parece razoável esperar que os sujeitos venham a desenvolver modelos mais elaborados e próximos dos modelos aceitos como científicos por si mesmos. Estes modelos são frutos de uma construção histórica que requereram muito esforço de gente muito bem preparada em cada época. Além disso, eles fazem uso de noções mais abstratas e de idealizações, bem distantes daquilo que percebemos no mundo. A função básica da escola e do ensino de ciências, especialmente no ensino médio, deve ser a de criar um ambiente que favoreça o envolvimento dos estudantes em exercícios de revisão de seus modelos intuitivos à luz de novos conhecimentos e experiências. Com isso eles podem vir a apreciar os modelos propostos pelos cientistas para explicar o mundo natural e construir versões mais robustas e consistentes de tais modelos.

Na ausência desses modelos mais elaborados, os estudantes vão usar os seus modelos intuitivos para explicar e prever os resultados das situações vivenciadas e, também, para atribuir causalidade aos eventos e fenômenos observados à sua volta. Isto é, eles vão usar o seu conhecimento de senso comum mesmo em situações que precisam ser tratadas com os instrumentos do conhecimento científico. O número desses modelos básicos é relativamente pequeno, o que possibilita que possam ser tratados de forma pausada e completa na escola média. Além disso, a posse desses modelos básicos tem o potencial de contribuir para um melhor entendimento público da Ciência (veja Millar, 1996).

## Referências

- ANDERSSON, B. The experiential gestalt of causation: A common core to pupils' preconceptions in science. European Journal of Science Education, V.8, n.3, p. 155-171, 1986.
- BLACK, M. Models and Metaphors. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1962.
- BORGES, A. T. Mental Models of Electromagnetism. Tese de doutoramento, Universidade de Reading, Inglaterra, 1996.
- BREWER, W.F. Schemas versus mental models in human memory. In P. Morris (Ed.) Modelling Cognition. Chichester: John Wiley, p. 187-197, 1987.
- CARROL, J.M. & OLSON, J.R. Mental models in human-computer interaction. In M. Helander (Ed) Handbook of Human-Computer Interaction. Amsterdam: Elsevier, 1988.
- CHI, M.T.H., FELTOVICH, P.J. and GLASER, R. Categorization and representation of physics problems by experts and novices. Cognitive Science, V.5, p. 121-152, 1981.
- CLOSSET, J.L. Sequential reasoning in electricity. In Research on Physics Education: Proceedings of the First International Workshop. La Londe les Maures - France, June 26 - July 13. Editions du CNRS, Paris, p. 313-319, 1983.
- de KLEER, J. and BROWN, J.S. Mental model of physical mechanisms and their acquisition. In J.R. Anderson (Ed). Cognitive Skills and Their Acquisition. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum , p. 258-310, 1981.

de KLEER, J. and BROWN, J.S. Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner and A.L. Stevens (Eds.) Mental Models. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum p. 155-190, 1983.

de KLEER, J. and BROWN, J.S. A qualitative physics based on confluences. In D. G. Bobrow (Ed.) Qualitative Reasoning About Physical Systems. Cambridge, MA: MIT Press , p. 07-84, 1984.

DRIVER, R., LEACH, J., SCOTT, P. and WOOD-ROBINSON, V. Young people's understanding of science concepts: Implications of cross-age studies for curriculum planning. Studies in Science Education, V.24, p. 75-100, 1994.

DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. Science Education, V.75, n. 6, p. 649-672, 1991.

FORBUS, K.D. Qualitative process theory. In D. G. Bobrow (Ed.) Qualitative Reasoning About Physical Systems. Cambridge, MA: MIT Press p. 85-168, 1984.

GENTNER, D. and GENTNER, D. R. Flowing waters or moving crowd: Mental models of electricity. In D. Gentner and A. L. Stevens (Eds.), Mental Models. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, p. 99-130, 1983.

GENTNER, D. and STEVENS, A.L. Mental Models. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1983.

GILBERT, J.K. & BOULTER, C. Stretching Models Too Far. Conferência Anual da National Association for Research in Science Teaching, San Francisco, 18-22 Abril, 1995.

JOHNSON-LAIRD, P. Mental Models. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.

JOHNSON-LAIRD, P. Analogy and the exercise of creativity. In S. Vosniadou and A. Ortony ( Eds.) Similarity and Analogical Reasoning. Cambridge: Cambridge University Press, p.. 313-331, 1989.

KÄRRQVIST, C. The development of concepts by means of dialogues centred on experiments. In R. Duit, W. Jung and C. von Rhoneck (Eds.), Aspects of Understanding Electricity. Kiel, Germany: IPN, p. 215-226, 1985.

KIERAS, D.E. and BOVAIR, S. The role of a mental model in learning to operate a device. Cognitive Science, V.8, p. 255-273, 1984.

MAYER, R.E. Models for understanding. Review of Educational Research, V.59, n.1, p. 43-64, 1989.

MAYER, R.E. Knowledge and thought: Mental models that support scientific reasoning. In R.A. Duschl and R.J. Hamilton (eds.) Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice. Albany, NY: SUNY Press , p. 226-243 , 1992.

MILLAR, R. Towards a science curriculum for public understanding. School Science Review, V.77, n. 280, p. 7- 18, 1996.

NEWELL, A. and SIMON, H.A. Human Problem Solving. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1972.

NORMAN, D.A. Some observations on mental models. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.) Mental Models. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, p.. 07-15, 1983.

OSBORNE, R. Towards modifying children's ideas about electric current. Research in Science and Technology Education, V.1, n.1, pp. 73-82, 1983.

OSBORNE, R. and FREYBERG, P. Learning in Science: The Implications of Children's Science. Auckland: Heinemann, 1985.

PIAGET, J. and GARCIA, R. Psychogenesis and the History of Science. New York: Columbia University Press, 1989.

PAYNE, S. J. On mental models and cognitive artefacts. In Y. Rogers, A. Rutherford & P.A. Bibby (Eds.) Models in the Mind London: Academic Press, 1992.

ROUSE, W.B. and MORRIS, N.M. On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. Psychological Bulletin, V.100, n.3, p. 349-363, 1986.

ROZIER, S. and VIENNOT, L. Students' reasoning in thermodynamics. International Journal of Science Education, V.13, n.2, p. 159-170, 1991.

SELMAN, R.L., KRUPA, M.P., STONE, C.R. and JAQUETTE, D.S. Concrete operational thought and the emergence of the concept of unseen force in children's

theories of electromagnetism and gravity. Science Education, V.66, n.2, p. 181-194, 1982.

SHIPSTONE, D. M.. Electricity in simple DC circuits. In R. Driver, E. Guesne and A. Tiberghien (Eds.), Children's Ideas in Science. Milton Keynes, England: Open University Press, p. 33-51, 1985.

VOSNIADOU, S. and BREWER, W.F. Mental models of the earth. Cognitive Psychology, V.24, p. 535-585, 1992.

VOSNIADOU, S. & ORTONY, A. Similarity and Analogical Reasoning. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

WHITE, B.Y. and FREDERIKSEN, J.R. Qualitative models and intelligent learning environments. In R.W. Lawler and M. Yasdani (Eds.) Artificial Intelligence and Education. Vol.1, Norwood, NJ: Ablex, p. 281-305, 1987.

WHITE, R. & GUNSTONE, R. Probing Understanding. London: Falmer Press, 1992.

WILLIAMS, M.D., HOLLAN, J.D. & STEVENS, A.L. Human reasoning about a simple physical system. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.) Mental Models. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1983.

## APÊNDICE - QUESTÕES SOBRE ELETROMAGNETISMO

**1) Mostrar um eletroímã feito com fio esmaltado de cobre enrolado em um núcleo de ferro, e ligado a uma pilha.**

- a) O que é isso?
- b) Para que isso é usado?
- c) Por que ele se comporta desse jeito?
- d) O que você espera que aconteça se você aproximá-lo de uma bússola? Por que?

### **Experimente**

- e) O resultado é o que você esperava? Como você pode explicá-lo.
- f) Mantenha a bússola próxima disso (eletroímã). O que você espera que aconteça com ela se tirarmos este ferro daqui?
- g) Por que você acha isso?

### **Experimente**

- h) O resultado está de acordo com a sua previsão? Como você pode explicá-lo?

**2) Use-o para pegar um clipe de aço. Levante-o e mantenha-o afastado da mesa.**

- a) Por que esse aparelho consegue puxar o clipe mesmo de longe?
- b) O que você espera que aconteça se você desligar a pilha. Por que?

### **Experimente**

- c) O resultado é o que você esperava? Explique o que aconteceu.

**3) Mostrar um segundo eletroímã construído com fio encapado, enrolado em torno de um núcleo de aço e ligado a uma pilha.**

- a) O que você espera que aconteça se você aproximar isso da bússola?
- b) Por que você espera isso?

### **Experimente**

- c) O resultado é o que você esperava? Explique o que aconteceu.

d) Use-o para pegar o clipe de aço. O que você espera que aconteça se você desligar a pilha?

e) Por que você acha isso?

### **Experimente**

f) O resultado é o que você esperava? Explique o que aconteceu.