

**MODELOS E OUTRAS REPRESENTAÇÕES MENTAIS NO ESTUDO DO DNA EM  
ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**  
(Models and other Mental Representations in the Study of DNA by High School Students)

**Karen Cavalcanti Tauceda** [ktauceda@terra.com.br]

**José Cláudio Del Pino** [delpinojc@yahoo.com.br]

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Resumo**

O estudo de modelos e representações mentais é um marco importante na pesquisa do ensino em ciências. Este trabalho foi realizado numa escola pública com alunos do 1º ano do ensino médio na disciplina de biologia, e analisa a relação entre a construção da aprendizagem significativa e a utilização das figuras do Livro Didático (LD), com um enfoque nos modelos mentais de Johnson-Laird. Os resultados demonstram que os alunos, que não usaram figuras do LD durante o processo de aprendizagem dos conceitos científicos (replicação do DNA – Ácido Desoxirribonucleico), apresentaram maior frequência de desenhos com modelos mentais. É discutida a relevância da produção deste tipo de representação mental no estudo do DNA em uma aprendizagem significativa. Esta pesquisa também busca uma reflexão sobre a metodologia do LD utilizada em sala de aula, indicando algumas conseqüências e limitações para o aprendizado dos alunos.

**Palavras-chave:** modelos mentais; representações mentais; livro didático; aprendizagem significativa; ensino de biologia; DNA.

**Abstract**

The study of models and mental representations is an important landmark in the research on science teaching. This inquiry took place in a state school with students in the 1st year of high school education in the subject of biology and analyzes the relation between the construction of meaningful learning and the use of figures from the Didactic Book (DB) in an approach by Johnson-Laird. The results show that those students who did not use the figures in the DB during the learning process of scientific concepts (DNA replication) presented a higher frequency of drawings with mental models. It discusses the relevance in the production of this type of mental representation when studying DNA in meaningful learning. This research also seeks to reflect on the DB methodology used in the classroom and points out some consequences for and limitations to students' learning.

**Keywords:** mental models; mental representations; didactic book; meaningful learning; teaching of biology; DNA.

**Introdução**

De acordo com a psicologia cognitiva contemporânea, as pessoas não captam o mundo exterior diretamente; elas constroem representações mentais, que são maneiras de representar internamente o mundo externo. As representações internas são criadas na mente com o objetivo de codificar características, propriedades, imagens e sensações de um objeto ou evento percebido, imaginado ou de um conceito abstrato para ser lembrado depois. As representações externas são uma maneira de expressar o pensamento humano. Podem constituir-se de uma representação simbólica (lingüística) ou de uma representação pictórica (desenho) (Moreira, 2002).

Uma representação, tanto interna quanto externa, é qualquer notação, signo ou conjunto de símbolos que represente algum aspecto do mundo externo ou da imaginação (Eysenck & Keane, 1991). Johnson-Laird (1983), em estudos sobre representações sugere que as pessoas raciocinam com modelos mentais. O conceito de modelo mental tem aparecido com frequência cada vez maior

na literatura de pesquisa do ensino de ciências (Johnson-Laird, 1983; Gentner & Stevens, 1983; Greca & Moreira, 1997). Portanto, a análise da construção do conhecimento na escola, sob este enfoque torna-se importante, visto que esta abordagem tem respondido a questões relevantes sobre os processos cognitivos dos alunos.

Provavelmente a capacidade de formar modelos mentais e raciocinar através deles seja resultado da evolução da habilidade de percepção dos organismos com sistema nervoso (Moreira, 1996). Johnson-Laird (1983) afirma que os modelos mentais podem ser construídos a partir da percepção ou do discurso. São constituídos por muitas proposições (regras) articuladas ou podem forma-se essencialmente por imagens, ou ainda uma combinação de proposições e imagens. Modelos são representações um tanto abstraídas, mas que podem ser vistas de qualquer ângulo e que, em geral, não retêm aspectos específicos de um objeto ou evento (Moreira, 1998). Normam (1983) caracteriza os modelos mentais como: incompletos; instáveis (pois as pessoas podem esquecer detalhes do sistema modelado); com fronteiras não bem definidas (elementos e operações podem ser confundidos entre si) e que refletem as crenças das pessoas sobre a natureza (não científicos).

Segundo Johnson-Laird (1983) há pelo menos três formas de codificar e representar as informações: as representações proposicionais, os modelos mentais e as imagens auditivas, visuais e táteis. Proposições são representações de significados, abstraídos e verbalmente expressáveis. As representações proposicionais podem ou não fazer parte de um modelo, porém elas são interpretadas em relação a modelos mentais. Imagens correspondem a visualizações do modelo, não possuem capacidade explicativa, e são produto tanto da percepção como da imaginação. Representam aspectos perceptíveis ou imaginados de objetos e eventos correspondentes do mundo real, vistos de um ângulo particular; são altamente específicas (Greca & Moreira, 1997).

A necessidade de representar o mundo para compreendê-lo, dando significado à suas percepções, faz parte das funções psicológicas humanas e existe tanto nos cientistas como nos alunos em sala de aula. Os primeiros constroem modelos conceituais, isto é, modelos inventados por pesquisadores para facilitar a compreensão e o ensino dos fenômenos naturais. Os modelos conceituais são representações externas, precisas, consistentes, de estados de coisas. Porém, os modelos dos alunos, ou de qualquer indivíduo, inclusive os que criam modelos conceituais, são modelos mentais, ou seja, modelos que as pessoas constroem para representar estados de coisas. Estes modelos não precisam ser tecnicamente acurados, mas devem ser funcionais (Moreira & Lagreca, 1998).

Um dos objetivos do ensino de ciências é orientar o estudante através de modelos conceituais de sistemas e fenômenos naturais, na construção de modelos mentais adequados e consistentes com estes modelos conceituais (Moreira, 2002). A ocorrência desta construção implica que as informações novas que o aluno recebe, devem interagir com seu conhecimento prévio, e o resultado desta interação são os novos significados, isto é, a aprendizagem significativa (Ausubel, 1982).

Os conhecimentos adquiridos em uma aprendizagem significativa são uma representação mental do mundo (Eysenck & Keane, 1991) quando relacionados a modelos mentais. Por isso, Ausubel (1982) afirma que, para que não ocorra uma simples memorização dos conceitos científicos (conhecimentos sem capacidade explicativa e funcional), estes devem ser apresentados de uma forma inacabada, provocando no aluno a necessidade de interpretá-los, descobri-los e então representá-los. Nesta interação com o meio, a pessoa modifica seu modelo mental a fim de alcançar e manter sua funcionalidade, portanto os modelos mentais evoluem naturalmente (Moreira & Lagreca, 1998). Esta recursividade, característica fundamental da moderna teoria dos modelos mentais (Johnson-Laird, 1983; Moreira, 1996), tem a capacidade de auto-correção de modelos não funcionais. Um modelo errôneo pode levar a conclusões erradas. Porém quando o modelo é funcional e explicativo pode levar a modelos mais complexos (Moreira, 1996).

O modelo conceitual do DNA (Ácido Desoxirribonucléico), no qual estão incluídos, por exemplo, conhecimentos sobre a hereditariedade (duplicação do código genético – replicação) e a relação entre o DNA e a vida celular, se desenvolve desde a descoberta da molécula de DNA na década de 50. Estas informações proporcionam um grande avanço no conhecimento científico nas áreas de bioquímica, biologia molecular, genética e evolução. O volume de informações geradas é grande, bem como sua complexidade e abstração; assim é difícil para o professor acompanhar as novas descobertas e repassá-las com êxito para os alunos; além disso, os professores podem apresentar uma formação científica inconsistente. Segundo Moreira (2007), facilitar a compreensão desses assuntos através de metodologias que melhorem a relação ensino/aprendizagem se tornou uma necessidade nos atuais contextos educacionais. Delizoicov (2003) afirma ser necessário refletir as práticas pedagógicas frente ao obstáculo de levar o saber científico para dentro da escola. Como tornar significativos para os alunos estes conhecimentos abstratos e complexos, resultantes da pesquisa científica? A contextualização dos modelos científicos com aspectos do dia a dia do aluno é importante, mas não parece ser suficiente para a construção de modelos mentais e seu aperfeiçoamento.

Quanto mais próximas da vida cotidiana sejam as situações apresentadas aos estudantes, mais esquemas e hábitos ele deve ter, e nestes casos, é muito difícil conseguir que eles venham a formar um conceito científico (Greca & Moreira, 2002). Estudos demonstram que alunos em diferentes níveis de ensino (fundamental, médio e superior), apresentam dificuldade para construir modelos mentais. Estes modelos não explicariam questões relativas ao DNA, como por exemplo, sua relação com a célula e o mecanismo da hereditariedade (duplicação do DNA) (Justina & Rippel, 2003; Marrero & Maestrelli, 2001; Moreira, 2007).

De acordo com Pinto & Martins (2000), uma realidade muito comum nas escolas é o uso massivo do livro-didático (LD). O LD é uma importante fonte de informação para os professores e alunos; é utilizado pelos professores na organização e planejamento das atividades em sala de aula. A falta de análise crítica deste recurso didático (por parte dos professores) decorre de fatores como a deficiência na formação científica e pedagógica. Isto leva alguns professores à prática da “pedagogia da facilidade”, ou seja, tornam-se limitados aos conteúdos. Estes conteúdos (textos e figuras), disponíveis no LD, representam os modelos conceituais relativos ao conhecimento em cada disciplina. Estes modelos conceituais, segundo Normam (1983), devem ser aprendíveis (termo do autor), funcionais e utilizáveis. Porém, os modelos conceituais trabalhados pelos professores não parecem gerar na mente dos alunos, os modelos mentais de fenômenos naturais.

## **Objetivo**

- Identificar os tipos de representações mentais utilizadas pelos alunos no processo de aprendizagem do DNA, isto é, proposições, imagens ou modelos mentais.
- Discutir a importância desta identificação para a aprendizagem significativa no ensino de ciências, mais especificamente na área da biologia.
- Refletir a influência do material instrucional, o LD, na construção de representações e modelos mentais.
- Discutir a relevância do uso de desenhos como ferramenta de pesquisa de modelos mentais, na área de ensino em ciências, mais especificamente no estudo de biologia.

## **Metodologia**

Este estudo foi realizado no período de março a dezembro do ano de 2007, em uma escola pertencente à rede estadual de ensino na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Foram

pesquisadas quatro turmas (média 35 alunos, com faixa etária entre 13 a 17 anos) do 1º ano do ensino médio, na disciplina de biologia, duas no turno da manhã (1M2; 1M4) e duas no turno da tarde (1T4; 1T5). As turmas foram divididas de acordo com a utilização ou não do LD: Grupo 1: turmas 1M2 e 1T4 (utilizou o LD); Grupo 2: turmas 1M4 e 1T5 (não utilizou o LD). O LD trabalhado com o grupo 1 foi o livro intitulado “Biologia” (Amabis & Martho, 2006).

Somente um professor foi responsável pela aplicação da pesquisa e análise dos desenhos. Através de exercícios de sondagem, constatou-se equivalência entre os conhecimentos prévios em biologia nos dois grupos de alunos (com e sem LD). Para o desenvolvimento do modelo científico do DNA e hereditariedade foram necessárias quatro aulas; cada aula teve a duração de 2 horas e 30 minutos aproximadamente, totalizando dez horas/aula. A última aula foi dedicada à realização da tarefa-instrucional.

Johnson-Laird (1983) afirma que os indivíduos operam cognitivamente com modelos mentais, os quais podem ser construídos a partir da percepção ou do discurso. O grupo 1 que utilizou o LD, desenvolveu suas representações mentais a partir da percepção das figuras do LD e do discurso (debate sobre os modelos mentais e científicos). Este último item (discurso) também foi utilizado no grupo 2 (sem o LD).

Na compreensão de alguns processos que ocorrem na aprendizagem em biologia, foi escolhida a forma gráfica de representação (pictórica, ou seja, desenhos). Os alunos produziram documentos (desenhos) em uma tarefa instrucional relacionada aos modelos conceituais que foram desenvolvidos em aula. Estes modelos referem-se aos conhecimentos relativos ao DNA, sua estrutura e relação com a célula, seus diferentes níveis de organização (gene, cromossomos) e os processos biológicos envolvidos na hereditariedade. No grupo 1 (com LD) também foram trabalhados os conhecimentos biológicos contidos nas figuras do LD. Em cada grupo foi feito um esquema mostrando o emparelhamento seqüencial de algumas bases nitrogenadas que ocorrem no DNA, e os conceitos científicos foram problematizados através de debates (Freire, 1996) para estimular os alunos na construção de seus modelos mentais. Para tornar o desenho mais explicativo, poderiam acrescentar proposições que julgassem necessárias. Foram produzidos 140 desenhos na tarefa instrucional, sendo que o grupo 2 não teve acesso às figuras do LD,

A tarefa instrucional consistiu em uma questão do tipo “generativa” (produtiva, não factual), isto é, questões que não podem ser respondidas através de simples repetição de informação não assimilada e compreendida (Vosniadou, 1994). No caso da hereditariedade e a sua relação com o DNA, a pergunta “O que é hereditariedade?” não é adequada, porque uma resposta correta não significa necessariamente que o aluno tenha compreendido o conceito trabalhado. Os resultados podem ser diferentes com uma pergunta que proponha uma relação entre a molécula do DNA e a transmissão das características de uma célula para as novas gerações (como a pergunta elaborada na tarefa instrucional). Para Greca & Moreira (1997), este tipo de pergunta tem maior potencial para fazer com que os alunos busquem em sua base de conhecimentos, a informação relevante para construir um modelo mental da hereditariedade; ou recupere da memória de longo prazo um modelo já construído. Segundo Izquierdo (2002), as informações contidas na memória de longo prazo são aquelas consideradas significativas e que contribuem na relação do indivíduo com o meio ambiente, de maneira mais permanente.

Tarefa Instrucional:

- Desenhe uma célula e mostre como são transmitidas, através da molécula de DNA, as características desta célula (informação genética) para as próximas gerações (hereditariedade).

Foram trabalhadas (com o grupo 1) apenas as representações pictóricas do livro (figuras e fotos) e suas respectivas legendas; desta forma, a estrutura conceitual dos textos do LD não foi uma variável a ser considerada. A metodologia na análise dos dados foi qualitativa e quantitativa. A partir da análise (qualitativa) dos desenhos foi determinado como os fenômenos eram descritos e/ou explicados (símbolos, cópia do formato do livro, explicações não detalhadas, frases desarticuladas, indicação do processo, contexto e caráter preditivo) (Moreira & Lagreca, 1998). Estas características foram interpretadas segundo a perspectiva dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983; 1987). Isto implica identificar o tipo de representação mental utilizada predominantemente pelo aluno: as representações proposicionais, as imagens ou os modelos mentais.

As representações contidas nos desenhos produzidos pelos alunos significam as suas explicações e interpretações acerca dos problemas apresentados na tarefa instrucional, isto é, seus “working model” para os fenômenos biológicos, suas causas e consequências. Mas estas interpretações podem não ser modelos funcionais (definidos então como representações), pois faltará a elas o caráter explicativo e preditivo. Se forem modelos, podem não estar em total concordância com as teorias científicas. Na medida em que o aluno consegue formar modelos que incluam as relações fundamentais de uma teoria (modelos conceituais), ele criará explicações e predições que estarão de acordo com as concepções aceitas cientificamente, indicando capacidade para entender teorias e modelos conceituais científicos (Greca & Moreira, 1996). Mas para desenvolver o modelo científico é imprescindível que o aluno desenvolva muitos modelos mentais, que vão se tornar o fundamento do seu conhecimento. Estes modelos poderão formar-se a nível proposicional (modelos proposicionais), no qual predominam definições e símbolos interligados por regras, que resultarão em explicações e predições. Os modelos também podem se formar a um nível mais qualitativo, como imagens (modelos imagísticos), através do uso predominante de desenhos. Podem ser também modelos parcialmente imagísticos e parcialmente proposicionais, isto é, modelos híbridos (Greca & Moreira, 1996, 2000).

Pode não formar-se modelos. Neste caso o aluno trabalhará com representações proposicionais, ou seja, proposições desconectadas e uso acentuado de regras isoladas. O aluno que define conceitos e utiliza símbolos não necessariamente constrói um modelo biológico, pois não é capaz de interpretar estas representações proposicionais, à luz de um modelo. Podem também ocorrer representações imagísticas onde a imagem predomina e não explica nenhum processo. Uma representação também pode ser proposicional/imagística, quando as representações apresentam elementos proposicionais e imagísticos sem indicar relação entre eles e/ou faltam aspectos explicativos e funcionais do processo que está sendo estudado (Greca & Moreira, 1996, 2000).

## **Resultados**

### **Análise Qualitativa**

A análise qualitativa dos desenhos indicou a ocorrência das categorias de modelos e representações mentais (aparentemente não associadas a modelos mentais) propostas por Greca & Moreira (1996) e Moreira & Lagreca (1998).

#### **1. Análise Qualitativa – Modelos Mentais**

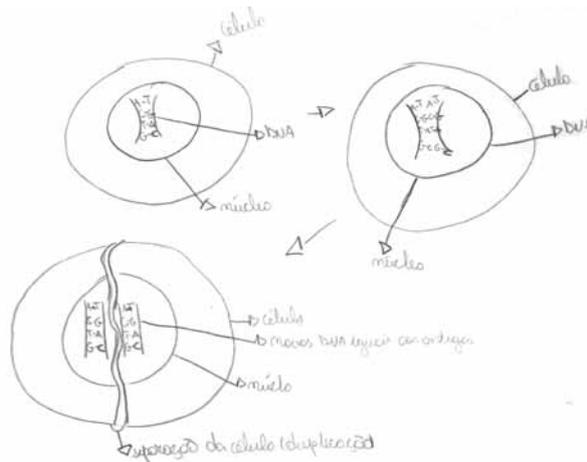
Categoria em que o aluno forma modelo de hereditariedade em nível celular.

1.1 Modeladores Híbridos (MH) (Fig.1): articulam imagens e proposições de maneira explicativa e funcional.

1.2 Modeladores Imagísticos (MI) (Fig.2): predominam as imagens e estas estão articuladas formando um modelo explicativo para o problema proposto.

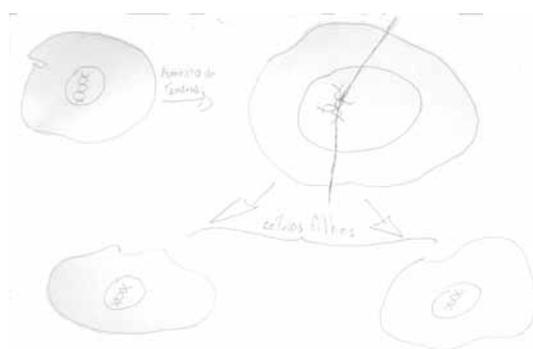
1.3 Modeladores Proposicionais (MP) (Fig.3): constroem modelos mentais proposicionais (definições e símbolos interligados de modo a formar um modelo). Algumas características da categoria 1:

a) Entendem o conceito de hereditariedade e a sua relação com o DNA da célula. A figura 1 exemplifica esta característica. Relacionam-se os diferentes aspectos do processo de replicação do DNA e hereditariedade através de imagens e proposições. O DNA encontra-se inserido no núcleo da célula, onde ocorrerá sua duplicação com a formação de novas células com o DNA replicado.

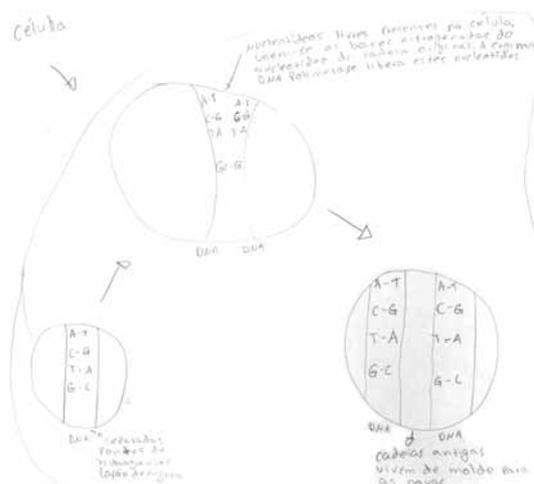


**Figura 1 – Modelo Híbrido:** Os símbolos que representam as bases nitrogenadas e os nucleotídeos indicam a duplicação do DNA, e as imagens transmitem a idéia da formação de células-filhas a partir de uma célula original. Proposições no contexto do processo celular que está representado.

b) Propõe um modelo que explica como são transmitidas as características de uma célula para outra (apresenta o conceito de hereditariedade, que inclui o conceito de replicação do DNA) (fig. 2 e 3). As figuras abaixo mostram o DNA original com sua divisão e duplicação, e posterior formação de células-filhas com o DNA oriundo da célula-mãe.



**Figura 2 – Modelo Imagístico:** Propõe um modelo de hereditariedade onde o elemento que se encontra no núcleo (provavelmente o que a imagem sugere é o DNA) sofre duplicação e divisão, originando células-filhas. Podemos inferir a partir deste desenho, que o DNA das células-filhas é igual ao da célula-mãe. São utilizadas poucas proposições e símbolos.



**Figura 3 – Modelo Proposicional:** As imagens são poucas e não representam com exatidão a célula (exemplo, não há núcleo). O desenho indica seqüência de eventos. Frases indicam a relação dos nucleotídeos com a duplicação do DNA, e os símbolos (letras que simbolizam as bases nitrogenadas) expressam esta afirmação. O modelo é incompleto, pois falta a representação do resultado final (células-filhas), e assim este modelo não está totalmente de acordo com o modelo científico da hereditariedade.

## 2. Análise Qualitativa – Representações Mentais

Categoria em que o aluno não forma modelos, mas representações.

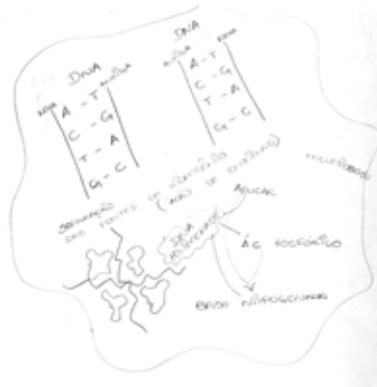
2.1 Proposicionais (P) (Fig. 4): proposições soltas, não vinculadas a um modelo.

2.2 Imagísticos (I) (Fig. 5): os alunos constroem imagens sem função explicativa.

2.3 Proposicionais e Imagísticas (P/I) (Fig. 6 e 7): em um mesmo desenho, os alunos usam as duas formas de representação, porém, não as relacionam formando um modelo explicativo para o problema proposto.

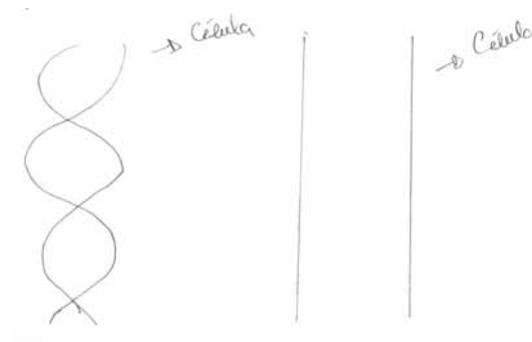
Algumas características da categoria 2:

a) Identificam algumas estruturas corretamente, mas não as relacionam aos processos de duplicação do DNA e transmissão de características às células-filhas (hereditariedade). Por exemplo, de qual estrutura celular originou-se as duas moléculas de DNA que contém as cadeias novas e antigas de DNA (Fig. 4)? As palavras que identificam as unidades do nucleotídeo (“base nitrogenada”, “ácido fosfórico” e “açúcar”) não apresentam relação com as cadeias de DNA. A palavra “nucleotídeo” está desvinculada de qualquer estrutura, símbolo ou proposição que represente as unidades do nucleotídeo. A proposição “separação das pontes de hidrogênio” está próxima a uma figura abstrata que não lembra o DNA. Esta proposição deveria estar relacionada às moléculas de DNA representadas acima. A expressão “DNA polimerase” relaciona-se com as bases nitrogenadas. Esta expressão deveria estar relacionada com as pontes de hidrogênio das moléculas de DNA (representadas na parte superior do desenho). A linha que circula todos os elementos do desenho provavelmente representa a delimitação da célula. Indica que não há outras células, como a célula com o DNA antes da duplicação (célula-mãe), e as células com o DNA replicado (células-filhas). O conceito de hereditariedade não está representado no desenho, pois o DNA duplicado a partir de um DNA original não é transmitido para novas células (filhas).

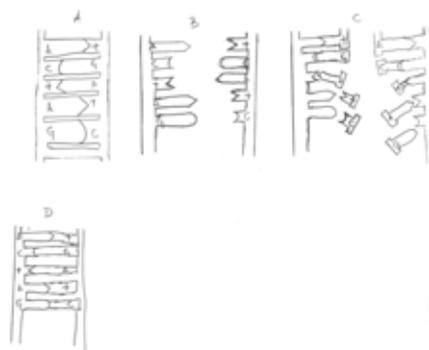


**Figura 4 – Representação Proposicional:** utilização de símbolos que representam as bases nitrogenadas dos nucleotídeos sem relação com o processo da hereditariedade. Frases desconectadas que tem relação com a duplicação do DNA, mas não estão relacionadas à imagem ou ao conceito de hereditariedade. As figuras, em menor número, são abstratas, próximas a palavras soltas (“DNA polimerase”, “açúcar”, “base nitrogenada” e “ácido fosfórico”), sem que haja construção de significado de estrutura e função.

b) Imagens e/ou proposições não apresentam conteúdo explicativo, ou estão desarticuladas do problema proposto (Fig. 5 e 6). A figura 5 indica estruturas que o aluno definiu como célula, mas que provavelmente representa a dupla hélice do DNA. As imagens não sugerem nenhuma função ou processo biológico, não explicam, portanto, como ocorre a hereditariedade através da duplicação do DNA.

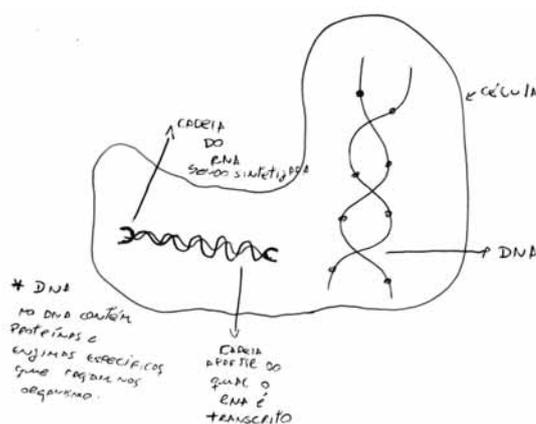


**Figura 5 – Representação Imagística:** As imagens do DNA (identificadas como células) predominam no desenho. A primeira imagem mostra poucas características estruturais do DNA, e a segunda é uma representação abstrata de uma imagem do DNA. Não há indicativo de algum processo hereditário.



**Figura 6 – Representação Proposicional e Imagística:** o desenho apresenta grande similaridade com a figura do LD. Não ocorreu uma tentativa, por parte do aluno, de compor sua própria representação, indicando uma evocação da memória de trabalho. Neste caso, as informações são lembradas para resolver uma situação imediata. Como estas informações não fazem sentido no contexto proposto, indicam memorização sem reflexão, e provavelmente estas informações serão esquecidas, não passando a compor a memória de longo prazo. Esta representação é resultado da discussão conceitual e observação da figura do LD. Ela não resultou em uma aprendizagem significativa, pois o desenho encontra-se descontextualizado (a célula e o núcleo não estão representados) e não responde ao problema proposto sobre a hereditariedade (pois não indica a formação das células-filhas).

c) A representação mostra frases desconectadas com a imagem, o que indica memorização de conteúdo que não é aplicável à situação proposta. A figura 7 indica confusão conceitual do aluno na definição de RNA (ácido ribonucléico) e DNA. A proposição “cadeia de RNA sendo sintetizada” e “cadeia a partir da qual o RNA é transcrito” ilustram a afirmação acima. A imagem da dupla hélice do DNA (denominada de RNA pelo aluno) não tem relação com a proposição “cadeia de RNA sendo sintetizada”, pois não estão representadas as novas cadeias que resultariam desta síntese. A proposição “no DNA contém proteínas...” não tem relação com a tarefa instrucional proposta pelo professor.



**Figura 7 – Representação Proposicional e Imagística:** As proposições não estão relacionadas com as imagens. As imagens sugerem uma estrutura do DNA, mas não indicam a duplicação das cadeias; também não indicam o processo de hereditariedade.

### Análise Quantitativa

A análise quantitativa dos desenhos indicou diferenças importantes na comparação entre as turmas que utilizaram ou não o LD, como indica a tabela 1. A construção de modelos mentais foi detectada em 55% dos desenhos das turmas sem LD, e em 17% dos desenhos do grupo com LD. A construção de representações foi detectada em 83% dos desenhos das turmas com LD, e em 44% nas turmas sem LD.

### Análise Quantitativa – Representações Mentais

Dentre os alunos que não conseguiram desenvolver modelos mentais, o grupo sem LD representou a solução do problema proposto pela tarefa instrucional, nas categorias (P=20%) e (I=13%), e desenhos onde encontramos as duas formas de representação, (P/I=11%). No grupo com LD, obteve-se maior frequência de desenhos (P=47%) e com os dois tipos de representação (P/I=34%). Os desenhos imagísticos representaram apenas 2% (um desenho), valor muito inferior ao

detectado nas turmas sem LD (I=13%). A categoria representação proposicional indicou a maior diferença entre as frequências, comparando os grupos com e sem LD (27%). A menor diferença encontrada (comparando os grupos com e sem LD) ocorreu na categoria representação imagística (11%). A maior frequência encontrada nos dois grupos (com e sem LD), em todas as categorias de representações, ocorreu na categoria de desenhos proposicionais, nas turmas com LD (47%). A menor frequência ocorreu na categoria representação imagística, nas turmas com LD (2%). Somando-se as frequências do grupo 1 (com LD) e do grupo 2 (sem LD), em cada categoria de representações (P), (I) e (P/I), predominaram as representações proposicionais (67%).

### **Análise Quantitativa – Modelos Mentais**

Os desenhos dos alunos que desenvolveram modelos mentais, e que constituem o grupo sem LD, ocorreram com maior frequência na categoria de modelos imagísticos (MI=24%) e menor frequência de modelos proposicionais (MP=11%). O grupo com LD apresentou 2% de modelos imagísticos (categoria de menor frequência) e 15% de modelos híbridos (categoria de maior frequência). Não foram identificados modelos proposicionais no grupo com LD.

A maior diferença entre frequências na comparação dos dois grupos (com e sem LD) foi encontrada na categoria de modelo imagístico, na qual o grupo sem LD apresentou 24% de desenhos, e o grupo com LD apenas 2%. A diferença de 11% entre os dois grupos, na categoria modelo proposicional, também foi importante. Não houve diferença marcante na frequência de desenhos híbridos entre os grupos sem LD e com LD (5%).

A maior frequência encontrada nos dois grupos (com e sem LD) em todas as categorias ocorreu na categoria de desenhos com modelos imagísticos (24%), nas turmas sem LD. A menor frequência foi encontrada na categoria de modelo proposicional (0%), nas turmas com LD. Nos alunos que formaram modelos mentais predominaram os modelos imagísticos (24% no grupo sem LD), porém no grupo com LD estes modelos foram pouco utilizados (2%).

Somando-se as frequências do grupo 1 (com LD) e do grupo 2 (sem LD), em cada categoria de modelos (MP, MI e MH) predominaram os modelos híbridos (MH=35%). No grupo dos alunos com LD, 32% utilizaram representações com características similares às encontradas no LD (P/I=17%, P=13% e I=2%), sendo as imagens menos utilizadas. Não foi encontrada qualquer representação similar ao LD do tipo modelo mental.

**Tabela 1 - Frequência relativa de desenhos em cada categoria, nas turmas do grupo 1 (1M2 e 1T4 ; com LD) e grupo 2 (1M4 e 1T5; sem LD).**

		(sem LD) n=45	TURMAS (com LD) n=53
Representações	1. Proposicionais	20	47
	2. Imagísticas	13	2
	3. Proposicionais e Imagísticas	11	34
	<b>TOTAL</b>	44	83
Modelos Mentais	1. Imagístico	24	2
	2. Proposicional	11	0
	3. Híbrido	20	15
	<b>TOTAL</b>	55	17

## Discussão

Um dos referenciais teóricos mais importantes na pesquisa do ensino em ciências, a partir da década de 90, é o modelo mental (Greca & Moreira, 2000). Uma pessoa quando explica algo (com êxito) a outra pessoa, fornece uma espécie de “manual” ou “receita” para a construção de um “working model” (Johnson-Laird, 1983). Greca & Moreira (1996) sugerem a possibilidade de que os modelos mentais sejam mais explicativos que as imagens e proposições. Desta forma, assim como foi observado por Moreira & Lagreca (1998), no estudo da importância de modelos mentais na compreensão e uso dos conceitos físicos, esta pesquisa também indicou que os modelos mentais, por serem complexos, indicam maior compreensão de diferentes conceitos em diversos contextos biológicos. Então, ao construí-los, o aluno estaria demonstrando uma aprendizagem mais significativa e um melhor entendimento dos conceitos (Moreira, 1996).

Segundo Johnson-Laird (1983) as pessoas representam internamente o mundo, operando cognitivamente com modelos mentais. Se um aluno constrói um modelo mental de algum estado de coisas do mundo, um fenômeno biológico, por exemplo, é porque ele é capaz de explicar, compreender e fazer previsões sobre ele. Isto não significa que este modelo mental seja correto do ponto de vista científico; porém ele é funcional.

O aluno, portanto, é um perceptor/representador, isto é, ele percebe o mundo e o representa. Os modelos mentais seriam representações mediadoras entre o mundo real ou imaginário e o conhecimento que o sujeito possui (Moreira, 2000). Como sugerido no parágrafo acima, este modelo mental não necessita ser totalmente correto, quando comparado aos modelos científicos biológicos (Fig. 3). Neste modelo o aluno sugere o processo de replicação do DNA como explicação para a transmissão das características, mas não representou o final do processo de duplicação, isto é, as células-filhas. De acordo com Pozo (1993), os alunos trazem para a aula modelos úteis, porém não necessariamente exatos do ponto de vista científico.

Ao construir modelos mentais sobre modelos conceituais (científicos), os alunos mostraram melhor compreensão na explicação dos fenômenos biológicos, e utilizaram símbolos (como no caso dos nucleotídeos) que representam este conhecimento. Mas estes símbolos só farão sentido dentro de um contexto explicativo e preditivo, isto é, em um modelo mental. Segundo Moreira & Lagreca (1998), um aluno que não constrói um modelo mental de um determinado estado de coisas, não forma uma representação mental mais elaborada, com algum poder explicativo e preditivo (ou seja, um modelo mental), e que indique uma aprendizagem significativa.

A aplicabilidade a novas situações significa uma possibilidade de “testar” o modelo, podendo confirmar a aplicabilidade cognitiva do modelo ou implicar sua revisão. Por isso ressalta-se a importância da construção pelos alunos, de modelos explicativos e funcionais como resposta aos novos desafios cognitivos, isto é, os novos conceitos que serão ensinados. De nada adianta mostrar representações prontas (sejam elas modelos ou não) do LD ou de outras fontes de pesquisa. Os resultados deste estudo indicam a necessidade da aplicabilidade de seus próprios modelos mentais na resolução de problemas, seja na construção de modelos proposicionais, imagísticos ou híbridos. Neste processo de novas construções cognitivas, as imagens do LD estudado parecem dificultar uma re-elaboração mental.

Na didática baseada na metáfora da “figura na cabeça”, que concebe as imagens externas como evidentes, transparentes, e mais sensíveis que outras formas de representação, os desenhos e

figuras são usados com fins estéticos e motivadores. São enfatizados aspectos perceptivos, ignorando-se as dificuldades da representação interna do conhecimento (que não tem relação direta com a representação externa) (Otero, et al., 2002). Esta premissa da “figura na cabeça” resume um pensamento já ultrapassado pelos estudos da psicologia cognitiva, de que existiria uma relação direta entre as imagens externas e as internas, em que não é levado em conta o processamento destas informações na construção de um modelo mental (Otero et al., 2002). Os resultados desta pesquisa confirmam esta análise de que as figuras (representações externas) nem sempre melhoram a aprendizagem. Os dados mostram que as figuras do LD dificultaram a construção de modelos mentais. No grupo de alunos que trabalharam com as figuras do LD, houve grande redução do número de desenhos que apresentavam esta forma de representação. Apenas 17% dos alunos que trabalharam com o LD, construíram modelos; em contrapartida 56% dos alunos que não utilizaram o LD construíram modelos. Segundo Moreira (2002), uma aprendizagem significativa (o contrário de uma aprendizagem por repetição) implica na construção de modelos mentais, pois compreender um estado de coisas do mundo natural (eventos, fenômenos) através do ensino de conceitos mentais (científicos), implica ter um modelo mental deste evento ou conceito. Também no processo de “leitura” de uma imagem do LD, é necessária uma relação dos conhecimentos prévios com os novos conceitos que estão inseridos na imagem da figura do LD; caso contrário, a aprendizagem fica prejudicada. Era esperado que as imagens e figuras do LD ajudassem na composição de modelos mentais dos alunos, visto que, essas imagens constituem-se parte de um material didático (LD) amplamente utilizado nas escolas do país. Isto não aconteceu, porque as figuras do LD eram muito abstratas e de difícil compreensão. Não ocorreu relação entre os conceitos contidos nas figuras do LD e os conhecimentos prévios; portanto não se desenvolveu a aprendizagem significativa

Assim, como também identificado por Palmero (2003), a percepção de imagens ou desenhos contidos nos LD, não originaram modelos, mais especificamente modelos imagísticos (no presente trabalho, só 2% dos desenhos foram de modelos imagísticos no grupo com LD, e no grupo que não usou o LD, 24% formaram modelos imagísticos). Na pesquisa de Palmero (2003) com modelos mentais de células, foi detectada uma relação entre as imagens externas produzidas pelos estudantes - seus desenhos - que se originaram de suas representações internas, e a percepção visual da célula encontrada no livro-texto. Alguns desenhos de células, feitos por seus alunos, mostravam grande similaridade com as figuras de célula do livro-texto utilizado em sua pesquisa, e estas figuras (do LD) não foram considerados pela pesquisadora como modelos mentais. Sua conclusão é de que os livros condicionam os processos mentais e assim, sua conceitualização. Na presente pesquisa os resultados corroboram esta afirmação. No grupo que utilizou o LD, 32% dos alunos mostraram desenhos que indicavam grande similaridade com as figuras do livro-texto (LD) (figura 6). Os resultados mostram que as representações pictóricas do LD influenciaram negativamente a construção de modelos mentais.

Analisando apenas as representações do grupo sem LD, as proposicionais aparecem com maior frequência (20%), uma diferença importante em relação às outras representações (I = 13% e P/I = 11%). Também no grupo com LD, as representações proposicionais são mais frequentes (P = 47%, I = 2% e P/I = 34%). Porém, na produção de modelos, nos dois grupos (sem e com LD), a frequência foi baixa (MP = 11 e MP = 0, respectivamente). Mesmo assim, observando os resultados da análise geral dos grupos sem e com LD (como já mencionado acima), pode-se considerar que há uma tendência na produção de representações externas com características proposicionais. Esta escolha prioritária (proposições) explica-se porque, após a alfabetização, as atividades escolares priorizam trabalhos com representações simbólicas (números e letras), mais abstratas, em detrimento de atividades pictóricas, que seriam mais concretas. Esta escolha metodológica por parte dos professores talvez esteja fundamentada nos estudos de Piaget (1975), que afirmam que o desenvolvimento humano se dá em direção ao pensamento lógico-formal (abstrato). Porém, como confirmado neste estudo, as atividades pictóricas (desenhos) produzidas pelos alunos também podem conter elementos abstratos (com proposições). As figuras do LD também podem ter um caráter

fortemente abstrato para o aluno (como foi identificado no LD utilizado neste estudo), não só porque estas figuras utilizam muitos símbolos (abstratos), como também porque estas representações não têm relação com os conhecimentos prévios dos alunos; portanto, não proporcionam uma aprendizagem significativa (Ausubel, 1982).

A construção de modelos proposicionais não foi prioridade para nenhum dos grupos de alunos com e sem LD (0% e 11%, respectivamente). No caso dos alunos com LD, as imagens externas do livro-texto favoreceram a construção de modelos híbridos (15%). No caso dos alunos sem LD, a construção de modelos imagísticos foi prioritária (24%).

A diferença na utilização de proposições nas representações (P: grupo 1 + grupo 2 = 67%) e nos modelos mentais (MP: grupo 1 + grupo 2 = 11%) talvez seja explicada (no caso das representações proposicionais) pela tentativa de representar algo que o aluno não compreende (portanto, não forma modelos mentais). Esta dificuldade identificada principalmente no grupo com LD levaria o aluno a representar suas idéias (embora desarticuladas), na forma simbólica, utilizando proposições, já que esta linguagem é familiar, pois faz parte de sua formação escolar, voltada para o uso da linguagem (abstrata). No caso do aluno conseguir elaborar modelos, situação evidenciada com mais frequência no grupo sem LD, a compreensão dos conceitos trabalhados é expressa com maior facilidade utilizando-se a representação pictórica, pois este entendimento construído (aprendizagem significativa) proporcionaria uma maior liberdade criativa no processo de representação da tarefa instrucional sugerida (desenho). Apesar desta forma de se expressar (desenho) não ser algo familiar, a compreensão dos conceitos estudados talvez impulse o aluno a experimentar outras formas de representação, que não aquela já estabelecida em sua memória de longo prazo (isto é, a representação simbólica – linguística).

A influência do uso das figuras do LD na construção de modelos é percebida principalmente na análise da produção de representações e modelos proposicionais. Modelos proposicionais não foram detectados em nenhum desenho, porém as representações proposicionais apareceram em 81% dos desenhos (se somarmos P + P/I). A explicação desta diferença na frequência entre representações e modelos proposicionais, talvez esteja na qualidade conceitual das figuras do LD utilizadas por estes alunos. As figuras não propõem modelos mentais. Além de serem descontextualizadas (em nenhum momento fazem relação com a célula ou o núcleo), o processo representado não explica, seja através de imagens ou proposições, a importância do fenômeno biológico da replicação do DNA para a vida da célula. Os símbolos utilizados para representar os nucleotídeos são abstratos e o DNA representado também apresenta problemas semelhantes. A tentativa por parte dos alunos, de interpretar as figuras do LD, provavelmente causou uma confusão conceitual que se manifestou principalmente na produção de representações proposicionais desconectadas, onde o aluno tenta explicar o processo e propor soluções utilizando símbolos (frases ou letras que representariam os nucleotídeos); mas para que esta construção resultasse em um modelo efetivo, estas representações deveriam ser funcionais (isto é, deveriam explicar a relação entre o DNA, sua replicação e a hereditariedade), indicando uma aprendizagem significativa. Os desenhos com representações proposicionais e imagísticas (P/I) apareceram na maioria dos desenhos dos alunos com LD (47%), constituindo a categoria de desenho menos frequente (11%) dos alunos sem LD. Novamente temos que levar em conta a aprendizagem significativa no processo de construção cognitiva dos alunos. As figuras do LD aparentemente causaram uma desarticulação conceitual no processo de elaboração dos desenhos de representação, no grupo com LD, pois a categoria (P/I) obteve uma frequência importante (34%). Os alunos não conseguiram determinar o campo representacional em que iriam desenvolver suas idéias, e desta forma utilizaram proposições e imagens, desarticuladas, sem a construção de um modelo mental.

Fazer um desenho requer certo grau de imaginação, mas isto não significa experimentar um modelo de imagem, pois se pode evocar uma imagem já vista (Palmero, 2003). Assim como frases memorizadas e utilizadas mecanicamente pelos alunos na resolução de problemas, as imagens de um

desenho podem ser simples cópias de uma imagem do LD (figura 6). Então, por que as imagens (representações ou modelos) não predominaram nos desenhos do grupo com LD? As figuras prontas seriam mais facilmente memorizadas, pois as imagens têm grande capacidade de serem evocadas pela memória de trabalho (Otero et al., 2002). Pode-se interpretar este resultado como sendo uma resposta ao nível de abstração das figuras do LD. Para o aluno talvez tenha sido mais fácil explicar com palavras aquilo que ele não compreendia (e que não conseguiu compreender, visto o número elevado de desenhos com representações proposicionais) do que tentar imitar as figuras do LD (o que ocorreu com 32% dos alunos do grupo com LD). Provavelmente ocorreu uma tentativa de tornar algo não significativo em significativo, e as palavras foram o recurso escolhido, incentivado pela tradição escolar do “uso das palavras” para representar o que se tem na mente.

Duit (1993) afirma que o ensino que prioriza a apresentação do conhecimento como algo acabado, onde fenômenos e leis e suas expressões teóricas seriam o resultado de rigorosos critérios lógicos dedutivos, dificilmente facilitaria a construção de modelos e a sua compreensão. Esta forma de ensinar não deixa espaço para a aprendizagem significativa. Segundo este autor, a pesquisa com relação às concepções alternativas indica esta dificuldade, mas não basta apenas identificar estas concepções, é necessário desenvolver conhecimentos relativos aos processos mentais envolvidos na aprendizagem significativa, propondo novas práticas pedagógicas.

A possibilidade de rever seus próprios conceitos, frente a novos contextos biológicos, torna o aluno agente de seu aprendizado e não um mero espectador de informações repassadas pelo professor; desta forma a aprendizagem torna-se significativa. O aluno também passa a compreender o processo de aprendizagem como algo dinâmico, em constante transformação, onde a necessidade de “decorar” conteúdos é substituída pela necessidade de compreender conceitos; caso contrário, ele não conseguirá explicar as novas situações apresentadas. Ao testar seus modelos em diferentes situações e alterá-los para melhor explicar os novos contextos (processo de recursividade do modelo mental), o aluno percebe o erro como fator de aprimoramento e não de derrota e regressão. A compreensão dos conceitos científicos do DNA, identificada pela capacidade explicativa e funcional frente a novos problemas e contextos biológicos, foi percebida principalmente no grupo de alunos que não utilizaram as figuras do LD, o que indica a construção de modelos mentais neste grupo. Por exemplo, ocorreu uma melhor compreensão dos processos bioquímicos da síntese de RNAs (transcrição) e de proteína (tradução). As relações e operacionalidade entre estes conceitos tornaram-se mais evidentes para estes alunos.

A construção de modelos exige mais que uma simples reorganização dos modelos já construídos, envolve uma visão diferente dos fenômenos. O aluno não precisa destruir seus antigos modelos, até porque eles são úteis para o aprimoramento de suas idéias (e de outros modelos) e foram capazes de explicar outros contextos. Segundo Moreira (1996), isto possibilita a coexistência de diferentes modelos, e a capacidade de diferenciar seu uso contextual.

Alunos modelizadores (Greca & Moreira, 2000) formam modelos mentais com algum poder explicativo, preditivo e com alguma congruência com o conhecimento cientificamente aceito, dando evidência de uma aprendizagem mais significativa. A validade desta categorização e a relevância para o ensino de física (e demais áreas do ensino de ciências) devem ser pesquisadas através da identificação pelo professor do tipo predominante de representação mental utilizado pelo aluno, e a partir daí ajudá-lo na modelagem (Greca & Moreira, 2000). Deve-se então investigar quais os fatores que contribuem para a modelagem, tanto em alunos de biologia como de outras áreas do conhecimento.

Alunos que não construíram modelos, mas representações, e que majoritariamente pertencem ao grupo que utilizaram o LD, não indicaram uma aprendizagem significativa, pois estas representações não mostram compreensão dos conceitos. As representações mentais formadoras de

modelos devem ser explicativas e funcionais para quem as representa; caso contrário, a compreensão do mundo a partir das representações mentais será prejudicada. A representação associada a um modelo mental deverá ser funcional para proporcionar aprendizagem significativa. Greca & Moreira (2000) afirmam que o assunto representações mentais/modelos mentais/modelagem é relevante para a pesquisa em ensino de física e parece ter muitas implicações instrucionais.

As imagens apresentam um caráter analógico e simbólico, muito importante na cognição, porém, sua construção deve diferenciar-se da percepção das imagens externas (Otero et al., 2002). Então, olhar uma figura do LD e tentar entendê-la com ajuda do professor e das legendas, e acreditar que haverá necessariamente a formação de um modelo imagístico, significa não compreender que é necessário construir um modelo mental a partir desta imagem. Como enfatizado por Johnson-Laird (1996), os processos de assimilação de significados (aprendizagem) não podem ser explicados somente a partir de imagens mentais e proposições; requerem a noção de um modelo mental.

Analisando o tratamento dado aos recursos visuais dos LD de física, na perspectiva das teorias cognitivas atuais, estas imagens não proporcionariam demasiados benefícios cognitivos (Otero et al., 2002), como também foi observado nesta pesquisa, com as imagens do LD de biologia.

Esta prática didática tão comum em nossas escolas, de esperar que o LD (e suas figuras), através da complacência do professor, transmita um conhecimento já determinado, sem uma releitura do professor ou do aluno (Pretto, 1985), direciona a comunidade escolar a um tipo de escola onde o conhecimento deve ser apenas adquirido, e não reelaborado. Freire e Guimarães (1988) afirmam que a escola faz a transmissão de um saber inerte, ao invés de convocar o estudante a atuar, pensar, criticar, produzir o seu conhecimento através de sua reflexão sobre o mundo e isso vem estimulando posições passivas nos estudantes. Justine & Rippel (2003) pesquisaram alunos que estavam concluindo o ensino médio, e perceberam que apesar de definirem os conceitos relativos à genética, a aplicabilidade destes conhecimentos mostrava-se comprometida, pois 76% dos alunos afirmavam que o código genético existia apenas nos animais. Também foi observado na presente pesquisa, que os alunos que escreveram frases, como por exemplo, "... separação de pontes de hidrogênio...", fizeram uma afirmação deslocada da imagem correspondente e fora do contexto de replicação do DNA, portanto indicando memorização de conteúdos (fig. 4).

De acordo com Martins (2000), nos últimos anos ocorreram mudanças (tanto na concepção quanto na apresentação) nos livros didáticos de Ciências. Otero et al., (2002) afirmam que, entre elas, destacam-se uma dependência crescente da comunicação visual. Esta tendência pode ser explicada como resultado dos avanços tecnológicos ocorridos na segunda metade do século XX, no auge da "cultura da imagem"; e intensificada ao final do século XX pela sociedade da informação, através de suas novas tecnologias da comunicação e informação (NTIC) tais como a internet. Ocorreu uma revitalização da utilização de imagens externas, visto que, durante o início do século XX predominou a tendência formalista nas práticas pedagógicas, e nas características do livro texto. Segundo Bachelard (1969), o uso de imagens externas para representar o conhecimento, era visto com certa desconfiança, talvez pela herança de uma epistemologia racionalista e formal.

A análise da influência do LD, mais especificamente, em relação às figuras nele contidas (representações e modelos), provoca uma reflexão sobre o papel que este material instrucional tem desempenhado no processo de ensino-aprendizagem em nossas salas de aula, na construção de representações mentais apropriadas. A pesquisa aqui apresentada compartilha o entendimento sobre a importância da detecção de modelos mentais dos estudantes nas diferentes áreas do conhecimento. Markman (1999) observa a necessidade de considerar, no estudo dos processos cognitivos dos sujeitos, as suas múltiplas representações, cada uma delas necessária para compreender as variadas habilidades que os mesmos apresentam.

É imprescindível a discussão sobre a aprendizagem significativa (Ausubel, 1982; Ausubel, et. al, 1980). Porém, só a identificação dos modelos não é suficiente para um avanço das questões relativas aos processos cognitivos do aluno; caso contrário, esta abordagem (detecção de modelos mentais) não se diferenciará muito daquelas do programa de concepções alternativas (Greca & Moreira, 2002). Este estudo pretende contribuir na análise de representações e modelos mentais dos alunos, na área da biologia, mas também na discussão sobre como tornar os modelos conceituais que ensinamos, e que consta nos currículos da escola como “conteúdos a serem desenvolvidos durante o ano letivo”, significativos para o aluno. A pergunta é: como relacionar os conhecimentos prévios dos alunos com os conhecimentos científicos, tornando estes também significativos? Ou ainda, quais as práticas pedagógicas utilizadas em sala de aula que tem dificultado a aprendizagem significativa, já que muitos trabalhos sobre o ensino de biologia mencionam a dificuldade de relacionar e compreender os conceitos biológicos (Marrero & Maestrelli, 2001; Justina & Rippel, 2003; Casagrande & Maestrelli, 2005).

O estudo de representações e modelos mentais é difícil, pois estes estão na mente das pessoas, portanto são parte de um assunto extremamente abstrato, o que dificulta ainda mais a apreciação pelo conhecimento. Segundo Moreira (1996), no ensino é preciso desenvolver modelos conceituais, e materiais e estratégias instrucionais que ajudem os alunos a construir modelos mentais adequados.

## Referências

- Amabis, J. M. & Mattho, G. R. (2004). *Biologia*. São Paulo, Ed. Moderna.
- Ausubel, D. P.; Novak, J. D & Hanesian, H. (1980). *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.
- Ausubel, D. P. (1982). *A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes.
- Bachelard, G. (1969). *La formación de l'sprits Scientifique*. Paris: Vrin.
- Casagrande, G. L. & Maestrelli, S. R. P. (2005). *Como os estudantes de medicina e odontologia da Universidade Federal de Santa Catarina conceituam e exemplificam doenças genéticas?* In: V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru. Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru: ABRAPEC, v. 5. Cd room.
- Delizoicov, D; Angotti, J. A. & Pernambuco, M. M. (2003). *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez.
- Duit, R. (1996). *Research on students' conceptions: developments and trends*. In: Proceedings of the 3rd International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca, New York: Cornell University.
- Eisenck, M & Keane, M. (1991). *Cognitive psychology: a student's handbook*. London: Erlbaum.
- Freire, P. (1986). *Pedagogia da autonomia: saberes necessários á prática educativa*, Paz e Terra: São Paulo.
- Freire, P. & Guimarães, S. (1988). *Sobre educação (diálogos)*. Paz e Terra: Rio de Janeiro.
- Gentner, D. & Stevens, A. L. (1983). *Mental models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaun.

Greca, I. M. & Moreira, M. A. (1996). Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1), 95-108.

Greca, I. M. & Moreira, M. A. (1997). The kinds of mental representations models, propositions and images- used by college physics students regarding the concept of electromagnetic field. *International Journal of Science Education*, 19(6), 711-724.

Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.

Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1), 31-57.

Izquierdo, I. (2002). *Memória*. Porto Alegre: Artmed.

Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA : Harvard University Press.

Johnson-Laird, P. (1987). Modelos mentais em ciência cognitiva. In: D. NORMAN (Ed.), *Perspectivas de la Ciência Cognitiva*. Barcelona: Paidós.

Justina, L. A. D. & Rippel, J. L. (2003). *Ensino de genética: representações da ciência da hereditariedade no nível médio*. In: Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru: ABRAPEC, v. 4. Cd room.

Markman, A. (1999). *Knowledge representation*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Marrero, A. R. & Maestrelli, S. R. P. (2001). *Qual a relação que existe entre DNA, cromossomos e genes?* In: 47º Congresso Brasileiro de Genética, Águas de Lindóia, São Paulo.

Martins, I. (2000). *Rhetorics of school science textbooks*. In: Proceedings of the VII Interamerican Conference on Physics Education. v. 1, Canela, RS, Cd room.

Moreira, L. M. (2007). O uso do corpo como ferramenta pedagógica: um modelo alternativo que desconsidera a ausência de recursos específicos para o ensino de bioquímica e biologia molecular no ensino fundamental. *Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular*, artigo D, n. 1.

Moreira, M. A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(3), 193-232.

Moreira, M. A. (2000). *Aprendizagem significativa crítica*. Atas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, N.J., Lisboa, p. 33 – 45

Moreira, M. A. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(3), 37-57.

Moreira, M. A. & Lagreca, M. C. B. (1998). Representações mentais em alunos de mecânica clássica: três casos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 3(2), 83-106.

Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In: D. GENTNER & A. L. STEVENS (Ed.), *Mental models* (pp.7-14). LEA: Hillsdale.

Otero, M. R.; Moreira, M. A & Greca, I. M. (2002). El uso de imágenes en textos de física para la enseñanza secundaria y universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(2), 127-154.

Palmero, M. L. R. (2003). La célula vista por el alumnado. *Ciência & Educação*, 9(2), 229-246.

Piaget, J. (1975). *A Construção do real na criança*. Trad: Cabral, A. Rio de Janeiro: Zahar.

Pinto, G. A. & Martins, I. (2000). *Retóricas dos textos didáticos: o caso do ensino de evolução*. In: Anais do Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia, São Paulo: USP, p. 285-287.

Pozo, I. (1993). Psicología y didáctica de las ciencias de la naturaleza: concepciones alternativas? *Infancia y Aprendizaje*. v. 62-63, 187-204.

Pretto, N. D. L. (1985). *A Ciência nos livros didáticos*. Campinas: Editora da Unicamp.

Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. In: *Learning and Instruction*, v. 4.

Recebido em: 26.09.09

Aceito em: 19.10.10