Doi: http://dx.doi.org/10.5212/PraxEduc.v.5i1.009029

# *A TEORIA SUBJACENTE AOS MAPAS CONCEITUAIS E COMO ELABORÁ-LOS E USÁ-LOS*[*]

# *THE THEORY UNDERLYING CONCEPT MAPS AND HOW TO CONSTRUCT AND USE THEM*

Joseph D. Novak[**]
Alberto J. Cañas[***]

**Resumo**

Este texto apresenta a origem da ferramenta de mapas conceituais e descreve brevemente o início do seu desenvolvimento. Apresentam-se algumas das ideias da Teoria da Assimilação de Ausubel (1963, 1968) que serviram como base para a criação dos mapas conceituais, destacando-se a importância da assimilação de novos conceitos e proposições na estrutura cognitiva prévia do aprendiz para a construção de significados. Apresentam-se ainda as bases epistemológicas dessa teoria de aprendizagem cognitiva, incluindo-se a ideia de que a produção criativa de um novo conhecimento pode ser entendida como um nível bastante avançado de aprendizagem significativa, processo que pode ser facilitado pela utilização de mapas conceituais. Busca-se ilustrar a larga variedade das ferramentas disponíveis no programa gratuito *CmapTools*, cujas várias aplicações incluem o auxílio ao desenvolvimento da aprendizagem significativa e do currículo, a captura e retenção de conhecimento especializado tácito e explícito e o fortalecimento da produção criativa. O uso do programa *CmapTools*, de fontes da internet e de outros recursos digitais prepara um poderoso Novo Modelo de Educação, levando à criação de portfólios de conhecimento individual, capazes de registrar a aprendizagem significativa e embasar qualquer futura aprendizagem afim. O programa *CmapTools* oferece ainda amplo suporte para colaboração, bem como para a publicação e compartilhamento de modelos de conhecimento.

**Palavras-chave**: Mapa conceitual. Aprendizagem significativa. Programa *Cmaptools*.

**Abstract**

This text presents the origin of the concept map tool and some of the early history in the development of this tool. Some of the ideas from Ausubel's (1963; 1968) assimilation theory of cognitive learning that served as a foundation for concept mapping are presented, including the important role that assimilating new concepts and propositions into a learner's existing cognitive framework plays in meaning making. Epistemological foundations are also presented including the idea that creative production of new knowledge can be seen as a very high level of meaningful learning, and concept mapping can facilitate the process. The wide range of tools available in free CmapTools software and some applications are illustrated, including application for facilitating meaningful learning, better curriculum development, capturing and archiving tacit and explicit expert knowledge, and enhancing creative production. Using CmapTools, WWW resources, and other digital resources provide for a powerful New Model for Education leading to the creation of individual knowledge portfolios that can document significant learning and serve as a foundation for future related learning. CmapTools also provides extensive support for collaboration, publishing and sharing of knowledge models.

**Keywords**: Concept Mapping. Meaningful learning. CmapTools.

---

* Tradução de "The theory underlying concept maps and how to construct and use them", disponível em: <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>. Traduzido com a autorização dos autores. Tradução de Luis Fernando Cerri (PPGE/UEPG), com revisão técnica de Fabiano Morais.

** Professor Emeritus - Cornell University and Senior Research Scientist Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC). E-mail: jnovak@ihmc.us

*** Associate Director - Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC). E-mail: acanas@ihmc.us

## Introdução

Mapas conceituais são ferramentas gráficas para a organização e representação do conhecimento. Eles incluem conceitos, geralmente dentro de círculos ou quadros de alguma espécie, e relações entre conceitos, que são indicadas por linhas que os interligam. As palavras sobre essas linhas, que são palavras ou frases de ligação, especificam os relacionamentos entre dois conceitos. Nós definimos conceito como uma regularidade percebida em eventos ou objetos, designada por um rótulo. Na maioria dos conceitos, o rótulo é uma palavra, embora algumas vezes usemos símbolos como + ou %, e em outras usemos mais de uma palavra. Proposições são enunciações sobre algum objeto ou evento no universo, seja ele natural ou artificial. Elas contêm dois ou mais conceitos conectados por palavras de ligação ou frases para compor uma afirmação com sentido. Por vezes, são chamadas de unidades semânticas ou unidades de sentido. A Figura 1 mostra um exemplo de mapa conceitual que descreve a estrutura dos mesmos e ilustra as características acima.

ou evento que tentamos compreender por meio da organização do conhecimento na forma desse mapa I, provendo assim o contexto para ele.

Outra importante característica é a inclusão de *cross links,* ou ligações cruzadas, que são as relações ou ligações entre conceitos nos diferentes segmentos ou domínios do mapa conceitual. As ligações cruzadas nos auxiliam a ver como um conceito em um domínio de conhecimento representado no mapa se relaciona a um conceito em outro domínio ali mostrado. Na elaboração de conhecimento novo, as ligações cruzadas muitas vezes representam saltos criativos por parte do produtor de conhecimento. Há duas características dos mapas conceituais importantes na facilitação do pensamento criativo: a estrutura hierárquica que é representada num bom mapa conceitual e a capacidade de buscar e caracterizar novas ligações cruzadas.

Uma última característica dos mapas conceituais são os exemplos específicos ou objetos que ajudam a esclarecer o sentido de um determinado conceito. Normalmente, eles não estão incluídos nas elipses ou quadros, pois são eventos específicos ou objetos, não representando, portanto, conceitos.

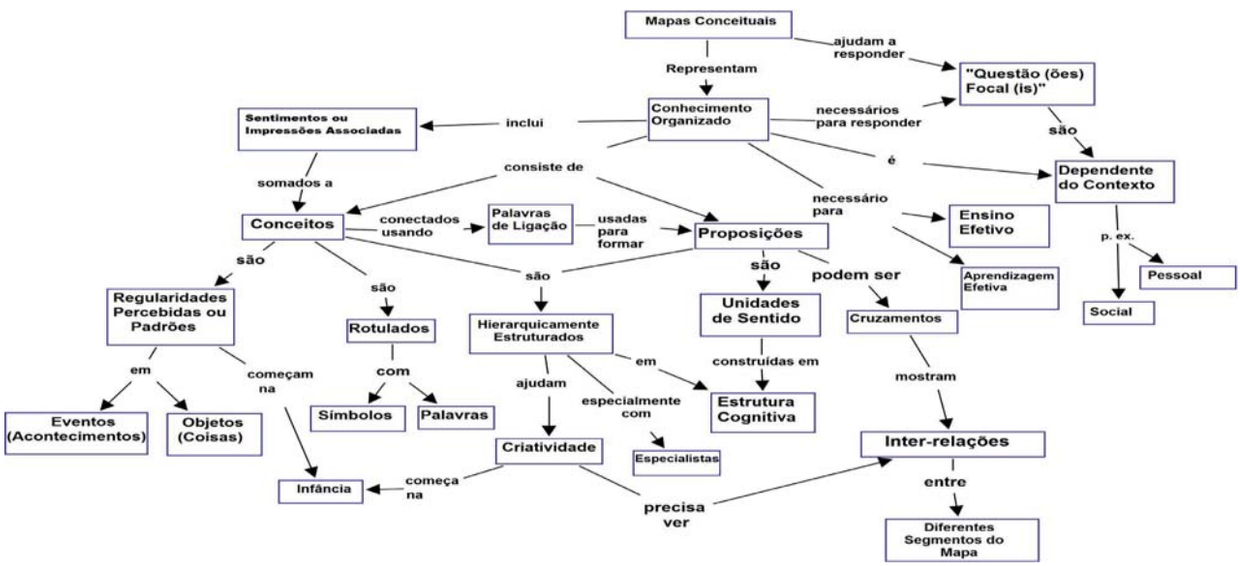



**Figura 1 -** Um mapa conceitual mostrando as características dos mapas conceituais. Mapas conceituais costumam ser lidos progressivamente de cima para baixo.

Outra característica dos mapas conceituais é que os conceitos são representados de maneira hierárquica, com os conceitos mais inclusivos e gerais no topo e os mais específicos e menos gerais dispostos hierarquicamente abaixo. A estrutura hierárquica de uma área específica de conhecimento também depende do contexto no qual o conhecimento está sendo aplicado ou considerado. Consequentemente, o ideal é que mapas conceituais sejam elaborados a partir de alguma questão particular que procuramos responder, o que denominamos questão focal. O mapa conceitual deve se referir a uma situação

Os mapas conceituais foram desenvolvidos em 1972, dentro do programa de pesquisa realizado por Novak na Universidade de Cornell, no qual ele buscou acompanhar e entender as mudanças na maneira como as crianças compreendiam a ciência (NOVAK; MUSONDA, 1991). Ao longo desse estudo, os pesquisadores entrevistaram um grande número de crianças e tiveram dificuldade em identificar mudanças específicas na compreensão de conceitos científicos por parte delas apenas examinando entrevistas transcritas. Esse programa se baseava

na psicologia da aprendizagem de David Ausubel (1963, 1968; AUSUBEL *et al.*, 1978). A ideia fundamental na psicologia cognitiva de Ausubel é que a aprendizagem se dá por meio da assimilação de novos conceitos e proposições dentro de conceitos preexistentes e sistemas proposicionais já possuídos pelo aprendiz. Essa estrutura de conhecimento de um determinado aprendiz é também chamada de estrutura cognitiva do indivíduo. Diante da necessidade de encontrar uma melhor forma de representar a compreensão conceitual de crianças, surgiu a ideia de que o conhecimento infantil fosse representado na forma de mapa conceitual. Desse modo, nasceu uma nova ferramenta não apenas para o uso em pesquisa, como também para muitos outros.

## Fundamentos psicológicos dos mapas conceituais

A origem dos nossos primeiros conceitos é uma questão que surge com alguma frequência. Esses são adquiridos pelas crianças no período do nascimento até os três anos, quando elas passam a reconhecer regularidades no mundo ao seu redor e começam a identificar rótulos de linguagem ou símbolos para essas regularidades (MACNAMARA, 1982). Esse aprendizado inicial é essencialmente um processo de aprendizado por descoberta, no qual os indivíduos discernem padrões ou regularidades nos eventos ou objetos, reconhecendo-os como as mesmas regularidades rotuladas por pessoas mais velhas com palavras ou símbolos. Essa é uma capacidade fenomenal que faz parte da herança evolucionária de todos os seres humanos normais. Após os três anos de idade, cada novo conceito e aprendizado proposicional é altamente mediado pela linguagem e se dá essencialmente por um processo de aprendizado receptivo, no qual os novos significados são obtidos por meio de perguntas e esclarecimentos sobre as relações entre velhos conceitos e proposições e novos conceitos e proposições. Essa aquisição é mediada de forma muito importante quando experiências ou proposições concretas estão disponíveis; daí a importância de atividades interativas no aprendizado de ciências com crianças mais novas, embora isso também seja verdade para aprendizes de qualquer idade e qualquer campo disciplinar.

Além da distinção entre o processo de aprendizagem por descoberta (no qual os atributos dos conceitos são identificados de forma autônoma pelo aprendiz) e o processo de aprendizagem receptiva (no qual os atributos dos conceitos são descritos por meio da linguagem e transmitidos para o aprendiz), Ausubel faz a importantíssima distinção entre aprendizado mecânico e o aprendizado significativo. O aprendizado significativo requer três condições:

1. O material a ser aprendido deve ser conceitualmente claro e apresentado com linguagem e exemplos relacionáveis com o conhecimento anterior do aprendiz. Mapas conceituais podem ajudar a cumprir essa exigência, tanto por identificar conceitos amplos e gerais possuídos pelo aprendiz antes de ele aprender conceitos mais específicos, quanto por ajudar no sequenciamento de tarefas de aprendizagem através de conhecimentos progressivamente mais explícitos, que podem se basear em quadros de desenvolvimento conceitual.

2. O aprendiz deve possuir conhecimento anterior relevante. Essa condição pode ser encontrada após os três anos de idade para praticamente qualquer campo disciplinar, mas é preciso ser cauteloso e explícito na elaboração de quadros conceituais se o objetivo é apresentar conhecimento específico detalhado em qualquer campo em lições subsequentes. Vemos, por conseguinte, que as condições (1) e (2) estão inter-relacionadas e são ambas importantes.

3. O aprendiz precisa ter vontade de aprender de modo significativo. A única condição sobre a qual o professor ou mentor não possui controle direto é a da motivação dos estudantes em aprender tentando incorporar novos significados ao seu conhecimento prévio, em vez de simplesmente memorizando definições de conceitos ou afirmações proposicionais, ou ainda procedimentos computacionais. O controle indireto sobre essa escolha encontra-se, essencialmente, nas estratégias de ensino e nas estratégias de avaliação usadas. Estratégias de ensino que enfatizam o relacionamento do conhecimento novo com o conhecimento já existente do aprendiz favorecem a aprendizagem significativa. Estratégias de avaliação que incentivam os aprendizes a relacionar as ideias que possuem com novas ideias também incentivam a aprendizagem significativa. As provas objetivas convencionais raramente exigem mais do que aprendizagem mecânica (BLOOM, 1956; HOLDEN, 1992). Na verdade, as piores formas de provas objetivas ou de respostas curtas exigem que os alunos se lembrem de enunciados palavra por palavra, o que pode ser impedido pela aprendizagem significativa, na qual o novo conhecimento é assimilado dentro de quadros já existentes, dificultando a lembrança de definições ou descrições específicas ou literais. Esse tipo de problema foi detectado anos atrás no livro de Hoffman (1962), *The Tyranny of Testing*.

Conforme se apontou acima, é importante reconhecer que a distinção entre os aprendizados mecânico e significativo não é uma simples dicotomia, mas antes um *continuum*, pelo fato de os indivíduos variarem no que se refere à quantidade e qualidade da sua bagagem de conhecimento relevante e à intensidade de sua motivação em procurar modos de incorporar conhecimento novo ao conhecimento que já possuem. A criatividade pode ser considerada um nível muito alto de aprendizagem significativa, conforme discutiremos mais adiante. Essas ideias são mostradas na Figura 2.

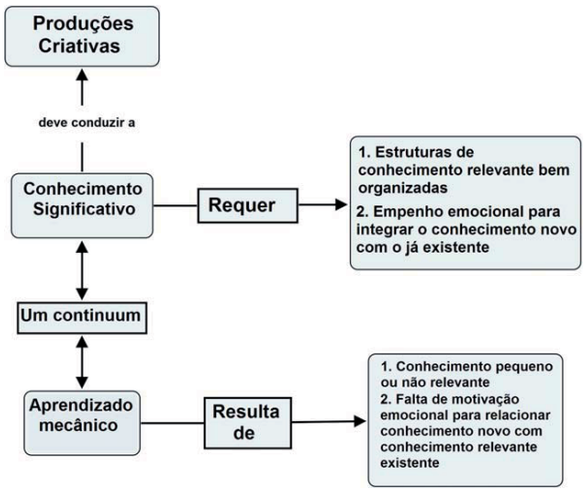



**Figura 2 -** O aprendizado pode variar de altamente mecânico a altamente significativo. A criatividade resulta de níveis muito altos de aprendizado significativo.

As pessoas muitas vezes confundem aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa com métodos de ensino que podem variar desde a apresentação direta de informação (a qual pode ser conceitualmente hermética ou explícita) até o método da descoberta autônoma, no qual o aluno percebe regularidades e elabora seus próprios conceitos.

Tanto os métodos de apresentação direta quanto os de ensino por descoberta podem conduzir à aprendizagem altamente mecânica ou altamente significativa, dependendo das características do aluno e da organização dos materiais didáticos. Essas distinções são mostradas na Figura 3. Existe uma noção equivocada de que o ensino baseado na investigação asseguraria a aprendizagem significativa. A realidade, no entanto, é que, a não ser que os estudantes possuam ao menos uma compreensão conceitual rudimentar do fenômeno que estão investigando, a atividade pode acabar acrescentando pouco ou nada ao seu conhecimento relevante e não passar de trabalho em vão. Na verdade, quase não se tem notícia de um corpus de pesquisa que fundamente o amplamente recomendado ensino por investigação (MAYER, 2004; KIRSCHNER *et al*., 2006; SWELLER *et al*., 2007).

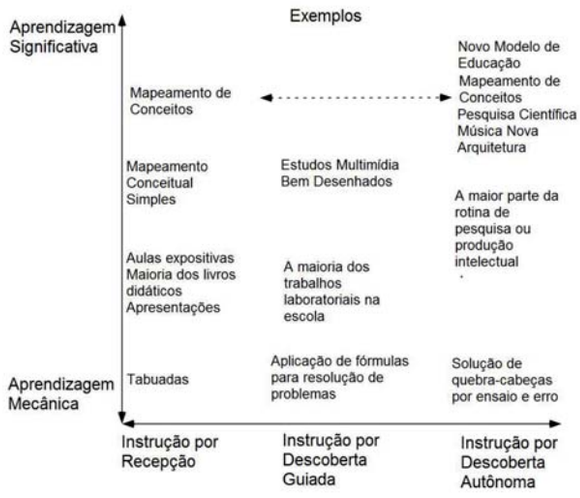



**Figura 3 -** O aprendizado pode variar de altamente mecânico a altamente significativo. A criatividade resulta de níveis muito altos de aprendizado significativo.

Uma das maneiras mais eficientes de se empregar os mapas conceituais é utilizando-os não só como ferramentas de aprendizagem, mas como ferramentas de avaliação, incentivando assim os alunos a usarem padrões de aprendizagem significativos (MINTZES *et al.*, 2000; NOVAK, 1990; NOVAK; GOWIN, 1984). Mapas conceituais são também eficazes na identificação das ideias sustentadas pelos estudantes, tanto válidas quanto inválidas, conforme discutiremos mais adiante em outra seção. Eles podem ser tão eficientes quanto entrevistas clínicas, que levam mais tempo para identificar o conhecimento relevante que um aluno possui antes ou depois da instrução (EDWARDS; FRASER, 1983).

Outro avanço importante em nossa compreensão da aprendizagem é que a memória humana não é um simples "recipiente" a ser preenchido, mas antes uma trama complexa de sistemas de memória interligados. A Figura 4 ilustra os sistemas de memória da mente humana e as interações com os dados afetivos ou psicomotores que ela recebe.

Ao passo que todos os sistemas de memória são interdependentes (e possuem informações vindo de ambas as direções), os sistemas de memória mais essenciais para a incorporação do conhecimento à memória de longo prazo são a memória de curto prazo e a "memória operacional". Toda informação que entra é organizada e processada pela memória operacional por meio da interação com o conhecimento presente na memória de longo prazo. O fator limitante aqui é que a memória operacional consegue processar apenas um número relativamente pequeno de unidades psicológicas (de cinco a nove) em um dado momento (MILLER, 1956).

Isso significa que a capacidade de processamento da memória operacional permite que ela re-

lacione no máximo cerca de dois ou três conceitos. Por exemplo, se pedirmos que uma pessoa memorize uma lista de 10 a 12 letras ou números em poucos segundos, na maioria dos casos ela se lembrará de apenas cinco a nove deles. No entanto, se as letras puderem ser agrupadas em uma palavra conhecida ou em algo semelhante a uma palavra, ou se os números puderem ser relacionados a um número de telefone ou a algo conhecido, então a pessoa poderá se lembrar de 10 ou mais letras. Num teste semelhante, se dermos a um grupo de alunos 10 a 12 palavras conhecidas, mas não relacionadas, para memorizar em poucos segundos, a maioria se lembrará de apenas cinco a nove palavras. Se as palavras forem desconhecidas, como termos técnicos apresentados ao aluno pela primeira vez, ele teria um bom desempenho se recordasse corretamente de dois ou três delas. Por outro lado, se as palavras forem conhecidas e puderem ser relacionadas aos conhecimentos que o aluno possui em sua estrutura cognitiva, como, por exemplo, meses do ano, 12 ou mais palavras podem ser facilmente lembradas.

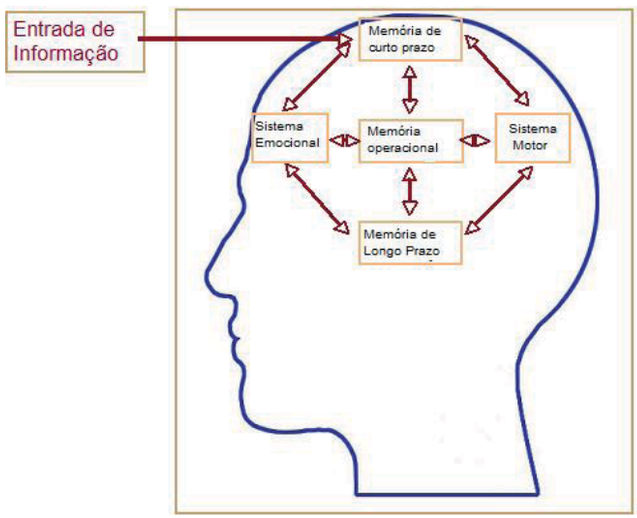



**Figura 4 -** Os sistemas-chave de memória do cérebro interagem quando estamos aprendendo.

É preciso acrescentar que a retenção de informações aprendidas mecanicamente ainda se dá na memória de longo prazo, assim como a informação aprendida significativamente; a diferença é que na aprendizagem mecânica há pouca ou nenhuma integração do novo conhecimento ao conhecimento existente, resultando em duas consequências negativas. Em primeiro lugar, o conhecimento aprendido mecanicamente tende a ser rapidamente esquecido, a não ser que seja muito repetido. Em segundo lugar, a estrutura de conhecimento ou estrutura cognitiva do aprendiz não é aprimorada ou modificada para esclarecer ideias incorretas. Assim, as concepções erradas persistirão e o conhecimento aprendido tem pouco ou nenhum potencial de ser usado em situações de aprendizagem e/ou resolução de problemas no futuro (NOVAK, 2002).

Por essa razão, estruturar grandes corpos de conhecimento requer uma sequência ordenada de interações entre a memória operacional e a memória de longo prazo, conforme o conhecimento novo vai sendo recebido e processado (ANDERSON, 1992). Acreditamos que uma das razões pelas quais os usos de mapas conceituais é tão eficaz para a facilitação do aprendizado significativo é porque ele serve como uma espécie de molde ou suporte para ajudar a organizar e estruturar o conhecimento, ainda que a estrutura precise ser construída peça por peça com pequenas unidades de quadros conceituais e proposicionais interagentes. Vários alunos e professores surpreendem-se ao verem como essa ferramenta simples facilita a aprendizagem significativa e a criação de quadros de conhecimento poderosos, que não só permitem que o conhecimento seja utilizado em novos contextos, mas também a retenção dele por longos períodos de tempo (NOVAK, 1990; NOVAK; WANDERSEE, 1991). Nós ainda sabemos relativamente pouco sobre os processos de memória e como o conhecimento finalmente se incorpora ao nosso cérebro, mas diversas fontes de pesquisa parecem deixar claro que nosso cérebro trabalha no sentido de organizar o conhecimento em quadros hierárquicos e que métodos de ensino que facilitem esse processo aumentariam significativamente a capacidade de aprendizado de qualquer aluno (BRANSFORD *et al.*, 1999; TSIEN, 2007).

Obviamente, nossos cérebros armazenam mais do que conceitos e proposições. Embora os últimos sejam o principal elemento que compõe nossas estruturas de conhecimento e forma nossa estrutura cognitiva no cérebro, irem nos deter por um instante para analisar outras formas de aprendizado. O aprendizado icônico envolve o armazenamento de imagens de cenas com as quais nos deparamos, pessoas que encontramos, fotos e inúmeras outras imagens. Essas também podem ser chamadas de memórias icônicas (SPERLING, 1960; 1963). Enquanto as imagens alfanuméricas que Sperling usou em seus estudos eram rapidamente esquecidas, outros tipos de imagens foram retidos por muito mais tempo. Nossos cérebros têm uma capacidade extraordinária de adquirir e reter imagens visuais de pessoas ou fotos. Por exemplo, em um estudo (SHEPARD, 1967) foram apresentadas 612 representações de cenas comuns a um grupo de pessoas e, posteriormente, perguntou-se qual de duas imagens parecidas era uma das 612 vistas anteriormente? Os participantes tiveram 97% de acerto na identificação das figuras que tinham visto. Três dias depois, eles continuaram acertando em 92% dos casos e, três meses depois, em 58%. Esse e

muitos outros estudos mostraram que os humanos têm uma capacidade extraordinária de se lembrar de imagens, embora esqueçam rapidamente muitos de seus detalhes. Levando-se em conta a frequência com que olhamos para moedas de um centavo, é interessante que os participantes de um estudo de Nickerson e Adams (1979), no qual se pedia que eles desenhassem uma moeda de um centavo, tenham emitido mais de metade dos seus detalhes ou os colocado no lugar errado. Acreditamos que a integração de vários tipos de imagens em um quadro conceitual por meio de *softwares* de mapeamento de conceitos como o *CmapTools* (descrito abaixo) pode aprimorar a memória icônica, e esperamos ver pesquisas nesse sentido.

A capacidade humana de recordar sons também é incrível. A capacidade de aprender e recordar sons é também chamada de memória árquica. Basta pensarmos nos músicos que são capazes de tocar centenas de canções sem consultar qualquer notação musical. Também aqui estamos lidando com memórias que não são codificadas como conceitos ou proposições. Estudos de Penfield e Perot (1963), entre outros, indicam que regiões do cérebro que são ativadas quando ouvimos sons são as mesmas ativadas quando nos lembramos deles. Embora possamos localizar as regiões do cérebro que estão ativas durante o processo de aprendizado ou lembrança de informações por meio de tomografias por emissão de pósitrons (PET), ainda desconhecemos os mecanismos específicos pelos quais os neurônios armazenam essas informações. Analisar a fundo esses mecanismos de memória foge à proposta deste artigo.

As habilidades individuais possuem diferenças claras, que foram em parte exploradas por Gardner (1983). Ele propôs uma Teoria das Inteligências Múltiplas. Seu trabalho recebeu muita atenção na área da Educação e serviu para chamar a atenção sobre o amplo leque de diferenças entre as capacidades humanas para vários tipos de aprendizado e desempenho. É bom que as escolas estejam reconhecendo a existência de habilidades humanas importantes que vão além da recordação de informações cognitivas específicas, que muitas vezes é a única forma de aprendizagem a figurar nos testes de múltipla escolha geralmente usados em escolas e empresas. Uma das razões pelas quais incentivamos a integração do amplo leque de atividades presentes em nosso Novo Modelo para a Educação é oferecer oportunidades para que essas outras habilidades sejam representadas e expressadas. Contudo, nós também vemos as oportunidades organizacionais oferecidas pela associação dessas várias atividades a uma estrutura de conhecimento explícita como algo muito benéfico. O tempo dirá se futuras pesquisas sustentarão essa afirmação.

Embora seja verdade que alguns estudantes tenham dificuldade para elaborar e usar mapas conceituais, pelo menos em seus primeiros contatos com eles, isso parece resultar essencialmente de anos de aprendizado mecânico em contexto escolar, e não de diferenças de estruturas cerebrais *per se*. As supostas diferenças de "estilo de aprendizagem" derivam, em grande parte, de diferenças nos padrões de aprendizagem empregados pelos estudantes, que vão desde um alto comprometimento com a aprendizagem mecânica contínua até uma dedicação quase exclusiva à aprendizagem significativa. Não é fácil ajudar alunos que estejam habituados a uma aprendizagem mecânica a trocá-la por práticas de aprendizagem significativa. Embora mapas conceituais possam ajudar, também é preciso ensinar a eles algo sobre os mecanismos do cérebro e a organização do conhecimento em conjunto com a utilização dos mapas. A informação nos parágrafos acima poderia fazer parte do programa de ensino para um uso eficiente dos mapas conceituais. Assim como as informações contidas neste artigo poderiam ser aplicadas a esse ensino. Ideias complementares para um melhor entendimento do assunto podem ser encontradas em outros textos (MINTZES *et al.*, 1998).

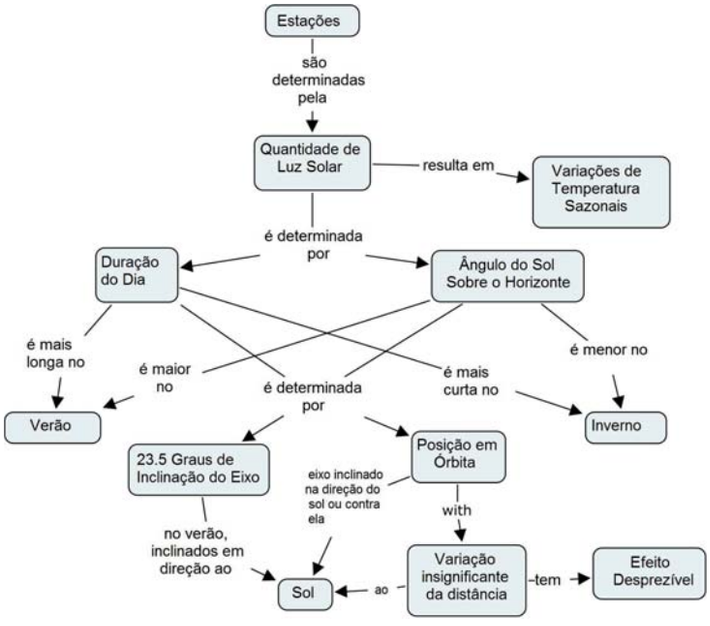



**Figura 5 -** Uma representação da estrutura de conhecimento necessária para a compreensão de por que existem as estações.

Para ilustrar como pode ser difícil para os indivíduos modificar suas ideias, especificamente se eles aprenderam essencialmente por repetição, citamos como exemplo as entrevistas feitas pelo *Private Universe Project* (PUP) na Universidade de Harvard (SCHNEPS, 1989). A equipe do PUP entrevistou 23 alunos, ex-alunos e funcionários da universidade

de Harvard, fazendo-lhes a seguinte pergunta: "Por que existem as estações?" Apenas 11 conceitos adequadamente organizados são necessários para compreender porque existem as estações, e uma disposição desses conceitos é mostrada na Figura 5. Os entrevistadores do PUP descobriram que 21 dos 23 entrevistados não eram capazes de explicar porque existem as estações, algo que aprendemos exaustivamente na escola. Entre esses, havia um aluno que acabara de cursar uma disciplina em Física do Movimento Planetário, que também acreditava erroneamente que as estações eram causadas pelo fato de a Terra se aproximar mais do Sol no verão e se afastar dele no inverno. Na verdade, a terra está ligeiramente mais próxima do Sol no inverno em Massachusetts, e não no verão. O principal motivo de termos estações alternadas nas latitudes acima e abaixo do Equador é a inclinação do eixo da Terra em relação ao Sol no verão, resultando em dias mais longos e radiação mais direta, o que, por sua vez, resulta em maior aquecimento. No inverno, o eixo da Terra está inclinado na direção contrária ao Sol, resultando em dias mais cursos e radiação menos intensa[1]. O que interfere na compreensão desses 21 entrevistados de Harvard é a confusão com o consenso de que, quando estamos próximos ao fogo ou a uma lâmpada, o calor é mais intenso do que quando estamos longe. Por conta disso, essas pessoas não conseguiram se dar conta de que esse mesmo fenômeno não se aplica às estações da Terra. Elas estão transferindo conhecimento de um contexto para outro, mas incorretamente. Podemos observar isso com frequência em muitos exemplos de "concepções errôneas" em todos os campos de estudo. A única solução para o problema da superação de concepções errôneas é ajudar os alunos a aprender significativamente e, nesse sentido, o uso de mapas conceituais pode ser bastante útil (Para maiores informação sobre concepções errôneas em Ciências e Matemática, ver Novak (2002) e www.mlrg.org).

## Fundamentos epistemológicos dos mapas conceituais

Conforme indicado anteriormente, nós definimos conceito como uma regularidade (ou padrão) percebida em eventos ou objetos, ou registros de eventos ou objetos, designados por um rótulo. Atualmente, está se chegando a um consenso de que os processos de aprendizagem significativa descritos acima são os mesmos processos usados por cientistas e matemáticos, ou especialistas de qualquer disciplina, para elaborar conhecimento novo. Na verdade, Novak argumentou que a criação de conhecimento novo nada mais é do que um nível relativamente elevado de aprendizado significativo alcançado por sujeitos que possuem uma estrutura bem organizada de conhecimento em uma área específica, além de um forte comprometimento emocional para persistir na busca de novos significados (NOVAK, 1977, 1993, 1998). Epistemologia é o ramo da Filosofia que lida com a natureza do conhecimento e a criação de novos conhecimentos. Existe uma relação importante entre a psicologia do aprendizado, tal como entendemos hoje, e o consenso crescente entre filósofos e epistemólogos de que a criação de novos conhecimentos é um processo construtivo que envolve tanto nosso conhecimento quanto nossas emoções ou nosso impulso de criar novos significados e novos modos de representar esses significados. Os próprios alunos envolvidos na criação de bons mapas conceituais estão se dedicando a um processo criativo, o que pode ser desafiador, especialmente se esses alunos passaram a maior parte da vida aprendendo mecanicamente. O aprendizado mecânico contribui muito pouco para as nossas estruturas de conhecimento, portanto não pode servir de base para o pensamento criativo ou para a resolução de problemas novos.

Como definimos acima, conceitos e proposições são os blocos de construção do conhecimento em qualquer área. Podemos usar a analogia de que os conceitos são como os átomos da matéria e as proposições são como moléculas da matéria. Existem apenas cerca de 100 tipos de átomos e eles formam um número infinito de tipos diferentes de moléculas. Existem atualmente 460.000 palavras na língua inglesa (sendo a maior parte delas rótulos de conceitos) e elas podem ser combinadas para formar um número infinito de proposições. Embora muitas combinações de palavras possam não ter sentido, ainda temos a possibilidade de criar um número infinito de proposições válidas e significativas. Jamais faltarão novas ideias para poetas e romancistas se expressarem de novas maneiras. Nunca nos faltará a oportunidade de criar conhecimento novo! Enquanto as pessoas criarem e observarem objetos ou eventos novos ou pré-existentes, as pessoas criativas continuarão a criar novos conceitos e conhecimentos. A criação de novos métodos de observação ou registro de eventos geralmente abre novas oportunidades para a criação de conhecimentos novos. Por exemplo, a criação do método de elaboração de mapas conceituais para registrar a compreensão individual gera novas oportunidades para estudar o processo de aprendizado e criação de novos conhecimentos.

Vai além das intenções deste artigo definir se convém estudar mais detalhadamente o processo de aprendizado humano e de criação humana de conhecimento. O leitor está convidado a investigar algumas das referências citadas. Algumas considerações importantes para a elaboração de melhores mapas conceituais e facilitação da aprendizagem serão discutidas em maior detalhe abaixo.

[1] Na verdade, esse raciocínio não vale para toda a Terra, mas para cada hemisfério alternadamente. (N. do T.)

## Elaborando bons mapas conceituais

Para se aprender a elaborar um mapa conceitual, é importante começar com uma área de conhecimento que seja bastante familiar para a pessoa que pretende elaborá-lo. Uma vez que as estruturas do mapa conceitual dependem do contexto no qual serão usadas, o melhor a fazer é identificar um segmento de um texto, de uma atividade de laboratório ou de campo, ou de um problema ou questão particular que se está tentando compreender. Isso cria um contexto que ajudará a determinar a estrutura hierárquica do mapa conceitual. É também útil selecionar um domínio limitado de conhecimento para os primeiros mapas conceituais.

Um bom modo de definir o contexto para um mapa conceitual é instituir uma questão focal, ou seja, uma pergunta que especifica claramente o problema ou questão que o mapa conceitual deve ajudar a resolver. Todo mapa conceitual responde a uma questão focal, e uma boa questão focal pode conduzir a um mapa conceitual muito mais rico. Ao aprenderem a elaborar mapas conceituais, os alunos tendem a se desviar da questão focal e elaborar um mapa que pode estar relacionado ao contexto, mas que não responde à questão. Como se costuma dizer, o primeiro passo para aprender a respeito de algo é fazer questões corretas.

Uma vez selecionado um domínio e definida uma questão ou problema dentro dele, o próximo passo é identificar os conceitos-chave que se aplicam a esse domínio. Geralmente algo em torno de 15 a 25 conceitos é o suficiente. Esses conceitos poderão ser listados e, a partir dessa lista, pode-se estabelecer uma escala ordenada do conceito mais geral e inclusivo para o problema ou situação em questão, que ficaria no topo da lista, até o conceito mais específico e menos geral, que ficaria na base dela. Por mais que esse *ranking* seja apenas aproximado, ele ajuda a começar o processo de elaboração do mapa. Nós costumamos nos referir à lista de conceitos como um estacionamento, já que a ideia é transferir esses conceitos para dentro do mapa conceitual à medida que determinamos onde eles se encaixam. Alguns conceitos podem continuar no estacionamento depois que o mapa estiver pronto, caso a pessoa que o fez não veja como relacioná-los a contento aos outros conceitos no mapa.

O próximo passo é elaborar um mapa conceitual preliminar. Isso pode ser feito escrevendo todos os conceitos em *Post-its* ou, preferencialmente, por meio do programa de computador *IHMC CmapTools* (CAÑAS *et al.*, 2004b, http://cmap.ihmc.us), descrito abaixo. Os *Post-its* permitem ao grupo trabalhar em um quadro branco ou em papel parafinado e trocar os conceitos de lugar com facilidade. Isso é necessário no início do processo de elaboração de uma boa organização hierárquica. Programas de computador são melhores ainda, pois permitem mover conceitos junto com as frases de ligação, bem como grupos de conceitos e ligações, para reestruturar o mapa. Quando o *CmapTools* é usado juntamente com um projetor multimídia, dois ou mais indivíduos podem facilmente elaborarem um mapa juntos e verem as mudanças na medida em que avançam no trabalho. O *CmapTools* também permite que indivíduos em uma mesma sala ou em qualquer parte do mundo trabalhem juntos em um mapa, sendo que os ele pode ser elaborados de forma sincrônica ou assíncrona, de acordo com a disponibilidade de quem o esteja fazendo.

É importante saber que um mapa conceitual nunca está finalizado. Uma vez concluído o mapa preliminar, é sempre necessário revisá-lo. Outros conceitos podem ser adicionados. Bons mapas geralmente resultam de três ou mais versões. Esse é outro motivo que torna útil a utilização de um programa de computador.

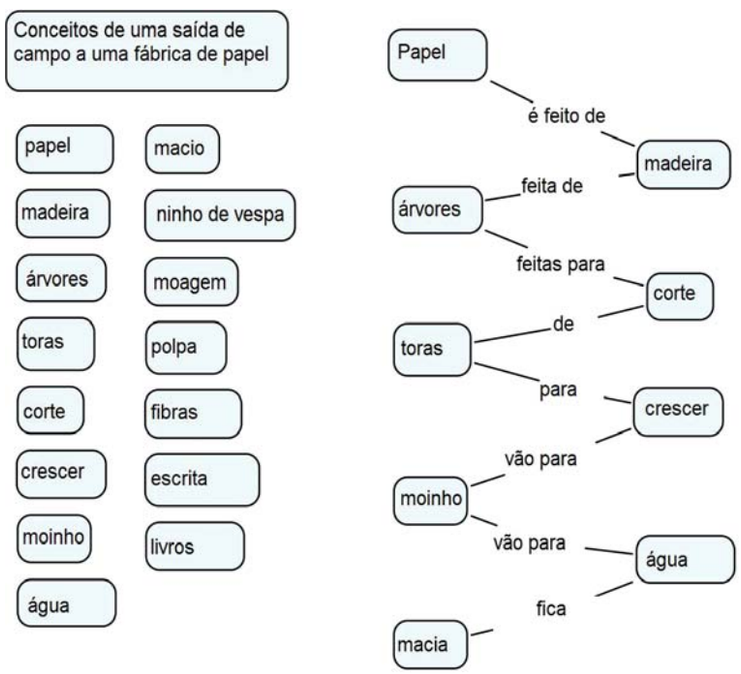



**Figura 6 -** Um mapa "em cascata" criado por uma aluna da quarta série primária depois de uma excursão a uma fábrica de papel. A classe identificou conceitos no estacionamento à esquerda, mas esta estudante não teve sucesso ao usar muitos deles e seu mapa faz pouco sentido. Essa estudante era uma boa leitora oral, mas tinha uma compreensão de leitura muito deficiente, e era uma aprendiz por repetição contumaz (veja NOVAK; GOWIN, 1984, p. 108).

Uma vez que concluído o mapa preliminar, é preciso buscar as ligações cruzadas. Elas são, no mapa, as ligações entre conceitos em diferentes segmentos ou domínios do conhecimento que ajudam a ilustrar como eles se relacionam. Ligações cruzadas são importantes para mostrar que o aluno entende as relações entre os subdomínios no mapa.

É importante ajudar os alunos a compreender que todos os conceitos são de algum modo relacionados uns aos outros. Portanto, é preciso ser seletivo ao identificar as ligações cruzadas e tão preciso quanto possível ao estabelecer palavras de ligação que interliguem conceitos. Além disso, deve-se evitar "frases nas caixas", ou seja, frases completas usadas como conceitos, uma vez que isso geralmente indica que toda uma subseção do mapa poderia ser elaborada a partir da frase na caixa. "Mapas em cascata" revelam tanto má compreensão do material quanto uma estruturação inadequada do mapa. A Figura 6 é um exemplo de mapa em cascata.

Os alunos muitas vezes comentam que é difícil acrescentar palavras de ligação às "linhas" de seus mapas conceituais. Isso se deve à má compreensão do relacionamento entre os conceitos, ou dos significados dos conceitos – e são as palavras de ligação que especificam esse relacionamento. Assim que os estudantes começam a se concentrar em boas palavras de ligação e a identificar boas ligações cruzadas, eles percebem que cada conceito pode ser relacionado qualquer outro conceito diferente. Isso também gera certa frustração, e precisam escolher identificar as ligações cruzadas mais evidentes e úteis. Esse processo envolve o que Bloom (1956) identificou como níveis elevados de desempenho cognitivo, ou seja, avaliação e síntese do conhecimento. A produção de mapas conceituais é uma maneira fácil de estimular níveis muito elevados de desempenho cognitivo, quando o processo é bem realizado. Por esse motivo, a produção de mapas conceituais pode ser uma ferramenta poderosa de avaliação (ESMONDSON, 2000).

Por fim, deve-se revisar o mapa, reposicionar conceitos de modo a transmitir clareza e melhor estrutura geral, e preparar uma versão "final". Caso um programa de computador esteja sendo usado, é possível "voltar atrás", mudar o tamanho e o estilo da fonte e adicionar cores para "enfeitar" o mapa conceitual.

Assim, vemos que os mapas conceituais não são apenas uma ferramenta poderosa para capturar, representar e arquivar o conhecimento individual, mas também uma ferramenta importante para criar conhecimento novo.

## A caixa de ferramentas do programa *CmapTools*

O programa *CmapTools* (CAÑAS *et al.,* 2004b - disponível para *download* em <http://cmap.ihmc.us>), desenvolvido no Instituto para a Cognição Humana e Mecânica (*Institute for Human and Machine Cognition - IHMC*), alia as qualidades dos mapas conceituais ao poder da tecnologia, particularmente da internet. O *software* torna fácil para usuários de todas as idades elaborarem e modificarem mapas conceituais da mesma forma que um processador de texto facilita a produção textual. Ele permite aos usuários trabalharem juntos à distância na elaboração de seus mapas; publicarem seus mapas conceituais para o acesso de qualquer pessoa conectada à internet; fazerem *links* para fontes externas em seus mapas para melhor explicarem seus conteúdos; e buscarem informações relacionadas ao mapa na Rede Mundial de Computadores.

O programa permite ao usuário fazer *links* com fontes (fotos, imagens, gráficos, vídeos, mapas, tabelas, textos, páginas de internet ou outros mapas conceituais) localizadas em qualquer parte da internet ou em arquivos pessoais a conceitos, ou interligar palavras em um mapa conceitual simplesmente clicando e arrastado os elementos desejados. *Links* para essas fontes são apresentados na forma de ícones debaixo dos conceitos, conforme mostrado na Figura 7. Clicar em um desses ícones abre uma lista de *links*, a partir dos quais o usuário pode escolher abrir uma das fontes "linkadas". Por meio do *CmapTools*, é possível usar mapas conceituais para acessar qualquer material que possa ser apresentado digitalmente, incluindo materiais preparados pelo elaborador do mapa. Desse modo, os mapas podem servir como ferramentas de indexação e navegação para áreas de conhecimento complexas, conforme mostraremos mais adiante com materiais da NASA sobre Marte (BRIGGS *et al*., 2004). Com essa interligação facilitada entre mapas conceituais, os alunos podem elaborar modelos de conhecimento (CAÑAS *et al.*, 2003b; CAÑAS *et al.*, 2005), que são compilações de mapas conceituais com fontes interligadas sobre um assunto específico, o que demonstra que seu entendimento sobre uma área não se limita a apenas um mapa conceitual.

## Facilitando a aprendizagem colaborativa e à distância

Há um corpus de pesquisa em expansão mostrando que, quando os estudantes trabalham em pequenos grupos e se esforçam em conjunto para aprenderem um tema, eles alcançam resultados cognitivos e afetivos positivos (JOHNSON *et*

*al.*, 1981; BERK; WINSLER, 1995). Vygotsky (1978) introduziu a ideia de que a linguagem e o diálogo social podem auxiliar no aprendizado, especialmente quando os membros do grupo social estão mais ou menos na mesma Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Ele descreve a ZDP como um nível de compreensão para um determinado assunto, a partir do qual o aprendiz pode progredir por conta própria, com o mínimo de ajuda de um professor. Quando estudantes trabalham cooperativamente em grupos e usam mapas conceituais para guiar seu aprendizado, o aprendizado resultante é significativamente maior (PRESZLER, 2004). Em nosso trabalho tanto com professores quanto com estudantes, pequenos grupos trabalhando em conjunto para elaborarem mapas conceituais se mostraram úteis em vários contextos. No início da década de 1990, na América Latina, alunos com acesso à rede IBM de computadores (anterior à internet) foram muito bem sucedidos na criação de mapas conceituais tanto com alunos da sua própria classe quanto com alunos de outros países (CAÑAS *et al.*, 2001). Em nossas próprias aulas e oficinas, e em aulas dadas por nossos estudantes em seus países, pequenos grupos de alunos trabalhando coletivamente na produção mapas conceituais conseguem criar mapas excelentes.

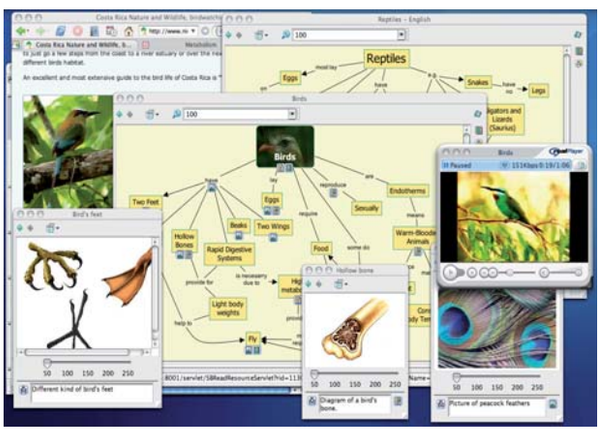



**Figura 7 -** Um mapa conceitual sobre pássaros construído por alunos do Ensino Médio. Os ícones abaixo dos conceitos proporcionam *links* para fontes externas (imagens, ilustrações, páginas de internet, vídeos ou outros mapas conceituais), algumas das quais são mostradas na Figura.

O *CmapTools* proporciona uma ampla gama de recursos para o trabalho em conjunto durante a feitura do mapa conceitual. Os mapas elaborados por meio do programa podem ser armazenados em servidores (*CmapServers*, cf. CAÑAS *et al.*, 2003a), nos quais podem ser acessados por qualquer pessoa conectada à internet. Alguns dos *CmapServers* são "públicos", permitindo a qualquer um (sem necessidade de autorização) publicar suas coleções de mapas conceituais e fontes (CAÑAS *et al.*, 2004a). Através dos *CmapServers*, usuários de todas as idades e de várias disciplinas têm publicado milhares de mapas sobre todos os tipos de assuntos e áreas. Embora os mapas conceituais nesses servidores públicos sejam apenas uma pequena amostra dos mapas publicados pelos usuários do *CmapTools* – e alguns não sejam bons mapas conceituais pelos nossos critérios –, eles servem para mostrar vários dos recursos do programa. Quando um mapa conceitual é salvo em um *CmapServer*, uma versão do mapa é também armazenada como página da internet, de modo que um navegador é o suficiente para que se possa fazer uma busca por todos os mapas conceituais disponíveis.

Por meio da armazenagem de mapas conceituais nos *CmapServers*, o *CmapTools* incentiva a colaboração entre os usuários que os produzem. Quando mapas são armazenados na internet, usuários cadastrados (CAÑAS *et al.*, 2003c) podem editá-los ao mesmo tempo (sincronicamente) ou no melhor momento para eles (assincronicamente). "Tópicos de discussão" e "Anotações" em forma "*Post-Its*" eletrônicos podem ser usados para fazer comentários pontuais sobre os mapas ou durante a elaboração dos mesmos. O alto grau de clareza dos mapas conceituais faz deles um veículo ideal para a troca de ideias ou para a elaboração coletiva de novos conhecimentos. Também percebemos que os obstáculos que derivam de inseguranças pessoais e medo de passar vergonha são amplamente evitados, uma vez que os comentários críticos são dirigidos ao mapa conceitual, não aos que elaboram o mapa. O fato de os alunos comentarem os mapas conceituais uns dos outros, seja em uma mesma classe ou em escolas diferentes, é uma forma efetiva de avaliação entre colegas e colaboração.




**Figura 8 -** Todo o espectro das atividades de aprendizagem pode ser integrado usando o *CmapTools*, incorporando várias atividades de aprendizagem gravadas por meio do programa, que gera um portfólio digital resultante da aprendizagem.

A ampla gama de recursos que o *CmapTools* oferece para a elaboração coletiva de mapas conceituais, estejam os alunos no mesmo lugar ou em lugares separados, tem incentivado o uso crescente da colaboração na elaboração dos mapas. Em uma série de contextos educacionais, a produção de mapas conceituais em pequenos grupos tem se mostrado útil em questões que vão desde a compreensão de ideias em teorias de assimilação do aprendizado e a até o esclarecimento de conflitos de trabalho para a resolução de impasses em corporações com ou sem fins lucrativos (e.g. BEITURE; MAYORGA, 2004). Mapas conceituais começam a ser usados em corporações para ajudar equipes a esclarecer e articular o conhecimento necessário para enfrentar situações que variam desde o desenho de novos produtos até o marketing ou a resolução de problemas.

## Um novo modelo de educação

### Um ambiente de aprendizado centrado em mapas conceituais

O *CmapTools* oferece uma série de recursos que possibilitam aos professores usarem os mapas conceituais para inúmeras atividades realizadas pelos estudantes (CAÑAS; NOVAK, 2005). Além de um ambiente de rede que incentiva o trabalho coletivo e a possibilidade de elaboração de modelos de conhecimento, o programa permite aos usuários, entre outros recursos: (a) busca de informações presentes em mapas conceituais (CARVALHO *et al.*, 2001), por meio da qual um aluno pode usar o *Cmap* para pesquisar mais sobre um determinado assunto – gerando assim um mapa incrementado com *links* para fontes externas – e realizar, por conseguinte, outras buscas; (b) gravar o processo de elaboração de um mapa para consultas posteriores, possibilitando ao professor ter acesso ao que é considerado um aspecto essencial da produção de mapas conceituais: o processo de elaboração dos mesmos; (c) exibição segmentada do mapa conceitual e das fontes externas a ele associadas em tela cheia para apresentações orais; (d) comparar graficamente dois *Cmaps*, permitindo ao professor contrapor o mapa do aluno ao seu para uma avaliação preliminar. O mapa conceitual pode então se tornar uma ferramenta ao redor da qual várias atividades do processo de aprendizagem podem girar, conforme mostrado na Figura 8.

Com base nos recursos oferecidos pelo *CmapTools*, o aluno pode usar o mapa conceitual como uma pré-avaliação; como um passo inicial rumo ao aprendizado de partes do conhecimento que ele precisa assimilar melhor; como a base sobre a qual ele pode desenvolver a pesquisa que levará a essa assimilação; como forma de organizar as várias fontes que usará para tanto; como ferramenta para trabalhar em conjunto com seus colegas; e como meio de apresentar suas descobertas ao final da unidade. Além disso, o mapa conceitual elaborado por esse aluno pode servir de base para uma avaliação geral (cf. VITALE; ROMANCE, 2000) do seu desempenho.

### Questão focal, estacionamentos e esqueletos de mapas elaborados por especialistas (*Expert Skeleton Maps*)

Um ambiente de aprendizado centrado em mapas significa que os mapas conceituais são usados durante todo o desenvolvimento de uma unidade ou módulo de ensino. Nesse contexto, os mapas conceituais provavelmente serão usados como uma ferramenta para determinar o nível de compreensão que os alunos têm sobre o tópico a ser estudado antes de ele ser introduzido. Os mapas são então elaborados, ampliados e aprimorados à medida que os alunos realizam outras atividades relacionadas ao tópico e aumentam sua compreensão dele, possivelmente gerando ao final modelos de conhecimento complexos que interligam fontes, resultados, experimentos, etc. e que podem ser usados, se houver interesse, como uma apresentação final pelos alunos.

Da mesma forma que os mapas conceituais podem ser utilizados de diversas maneiras nas atividades de sala de aula, existe uma série de “pontos de partida” para a elaboração dos mapas conceituais preliminares pelos alunos.

Cada aluno pode construir seu mapa conceitual preliminar individualmente, dando ao professor um retorno quanto ao nível de compreensão de cada um. Nessa opção de construção individual do mapa, pode-se fazer com que os alunos trabalhem em conjunto por meio de uma Sopa de Conhecimento (CAÑAS *et al*., 1995; CAÑAS *et al*., 2001), na qual eles possam partilhar proposições, mas não vejam os mapas uns dos outros (ver Figura 9). Os mapas conceituais podem ser elaborados por duplas ou pequenos grupos de alunos, sendo que, nesse caso, o professor deve estar atento ao nível de participação de cada um. O *CmapTools* possui um recurso de gravação que permite gravar e reproduzir os passos da elaboração do mapa, no qual é possível identificar as contribuições de cada participante.

O mapa conceitual pode também elaborado pela classe como um todo, com a ajuda de um projetor. Nesse caso, todos os alunos dão suas respectivas opiniões e participam na elaboração do mapa. Os professores devem estar alertas para avaliar a participação individual de cada aluno.

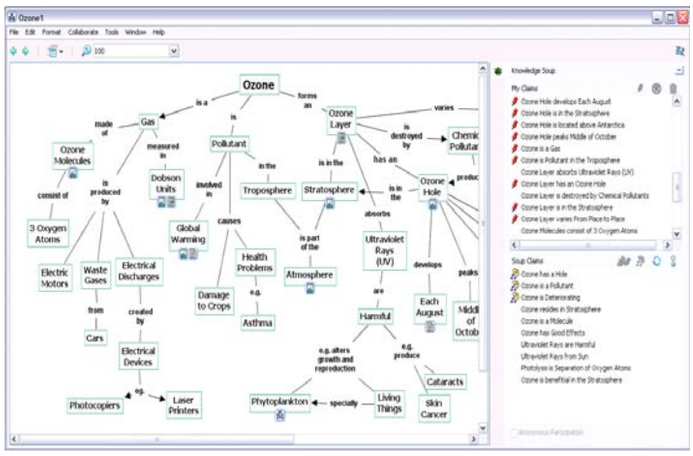



**Figura 9 -** Mapa conceitual que é parte de uma Sopa de Conhecimento em grupo. A lista de proposições na janela do canto superior direito foi gerada automaticamente pelo *Cmap* e as proposições com um "alfinete" foram "publicadas". A janela do canto inferior direito mostra proposições de outros participantes da Sopa, sendo que algumas delas possuem tópicos de discussão anexados questionando ou comentando a proposição.

Do mesmo modo, o ponto de partida a partir do qual o mapa é elaborado pode variar dependendo do conhecimento prévio que se espera dos estudantes, da dificuldade e do ineditismo do assunto e da confiança do professor em dominá-lo.

## Questão focal

O ponto de partida para a elaboração de um mapa conceitual pode ser apenas a questão focal. Por exemplo, a questão "Como medimos o tempo?" pode ser apresentada aos estudantes para que eles a respondam por meio da construção do mapa. O tipo de questão focal influi no tipo de mapa conceitual que os alunos elaboram. Uma questão como "O que são plantas" conduz a um mapa conceitual mais informativo, classificatório do que a questão "Para que precisamos de plantas?" Experimentos mostram que não apenas a questão focal, mas também o conceito-raiz do mapa conceitual tem uma forte influência sobre a qualidade do mapa resultante (DERBENTSEVA *et al.*, 2004, 2006). É importante que a questão seja apresentada na forma de pergunta, e não apenas como um tópico (por exemplo, "Faça um mapa conceitual sobre plantas"), uma vez que respondê-la ajuda os estudantes a se concentrarem em seus mapas. Toda vez que um mapa conceitual é criado com o *CmapTools* e então salvo, uma questão focal é solicitada do usuário, assim como palavras-chave sobre a mesma.

## Estacionamento

Nós nos referimos a uma lista de conceitos esperando para serem adicionados a um mapa conceitual como um estacionamento de conceitos. O ponto de partida para a elaboração do mapa conceitual pode ser uma lista de conceitos que o professor queira se certificar de que todos os alunos incluam em seus mapas. Um exemplo disso foi dado na Figura 6. A Figura 10 apresenta a questão focal, "Qual é a estrutura do Universo?", e seu respectivo estacionamento. Espera-se que o aluno, grupo de alunos ou classe construam um mapa conceitual que responda à questão e inclua pelo menos os conceitos na lista. Elaboradores experientes de mapas conceituais concordam com pesquisadores que o aspecto mais desafiador e difícil da elaboração de um mapa é a elaboração das proposições; isto é: determinar quais frases de ligação demonstrarão claramente o relacionamento entre os conceitos. Então, dar ao estudante alguns dos conceitos não tira a dificuldade da elaboração do mapa, embora possa, até certo ponto, limitar a sua criatividade em selecionar os conceitos a incluir. Isso oferece *insights* ao professor no que se refere a quais conceitos os alunos têm problemas de integrar ao mapa conceitual, pois indica pouca ou nenhuma compreensão dos mesmos.

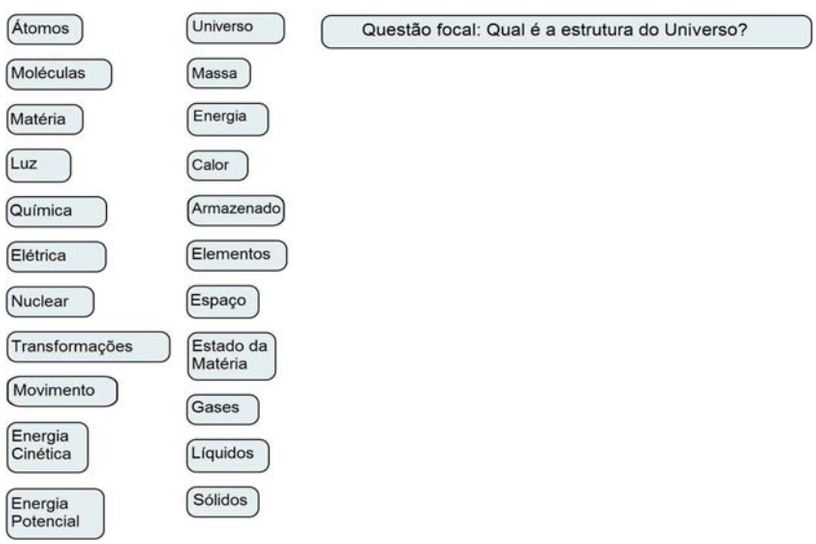



**Figura 10 -** O começo de um mapa conceitual com uma questão focal e o estacionamento com conceitos a serem incluídos no mapa.

## Esqueletos de mapas elaborados por especialistas

Para tópicos difíceis – seja para os alunos, conforme determinado pela experiência prévia do professor, seja para ele próprio por conta da sua formação – o uso de um "esqueleto" de mapa conceitual de um especialista é uma alternativa. Esse "esqueleto" é elaborado por um especialista na área e permite que tanto os estudantes quanto os professores construam seu conhecimento sobre bases sólidas. Esses mapas servem como guia, suporte, ou ajuda para o aprendizado, da mesma forma que uma armação de andaimes serve para construir ou reformar um edifício.

A Figura 11 é um "esqueleto" de mapa conceitual que corresponde ao mesmo tópico que o "estacionamento" na Figura 10. Observe que, neste exemplo, alguns dos conceitos foram deixados no "estacionamento" para que os estudantes os acrescentem ao mapa conceitual.

Ainda estamos realizando pesquisas quanto ao uso desses "esqueletos" de mapas conceituais e, portanto, não temos tanta experiência em relação a eles quanto em relação aos pontos de partida da questão focal e do estacionamento. O'Donnell, Dansereau, e Hall (2002) demonstraram que "mapas de conhecimento" podem funcionar como suportes para facilitar a aprendizagem.

É importante notar que os "esqueletos" de mapas conceituais devem ser elaborados por um especialista na área. Espera-se que o especialista seja mais capaz de selecionar o pequeno número de conceitos que são essenciais para a compreensão do tópico e que expressam precisamente os relacionamentos entre esses conceitos. Em geral, é muito mais difícil elaborar um mapa bom e preciso com um pequeno número de conceitos (quatro ou cinco) do que com 15 ou vinte conceitos.

Um "esqueleto" de mapa conceitual não possui um tamanho predeterminado. Porém, o número final de conceitos que se espera ver no mapa é uma função do número de conceitos presentes no "esqueleto". Por exemplo, um "esqueleto" que consiste em cinco conceitos deve ser expandido pelo aluno para um mapa com 15 ou vinte conceitos. Se o "esqueleto" contém vinte conceitos, o que o tornará um mapa mais exaustivo, espera-se que o mapa final tenha algo entre cinquenta a sessenta conceitos. Nesse caso, provavelmente usaríamos um mapa relativamente completo (não um "esqueleto") como suporte e esperaríamos que os estudantes se aprofundassem mais no tópico, criando diversos submapas interligados ao mapa de partida.

Podemos antever um programa de utilização dos "esqueletos" de mapa como suporte para o aprendizado, a começar com o desenvolvimento de uma série de mapas conceituais em uma determinada disciplina, partindo de ideias mais gerais e inclusivas e então passando gradualmente para mapas conceituais mais específicos, que guiarão os alunos. Por exemplo, a Figura 11 mostra um "esqueleto" de mapa para Ciências que abarca os mais importantes conceitos-chave para a compreensão da Ciência. Os alunos podem começar com esse mapa, adicionar conceitos do estacionamento, criar links para fontes externas digitais e também elaborar submapas mais específicos. Mapas conceituais ainda mais específicos, elaborados por especialistas, também podem ser oferecidos, tal como mostrado na Figura 12. Aqui, nós também vemos um submapa que pode ser criado por um grupo de alunos e um exemplo de duas fontes que podem ser acessadas por meio de ícones no submapa.

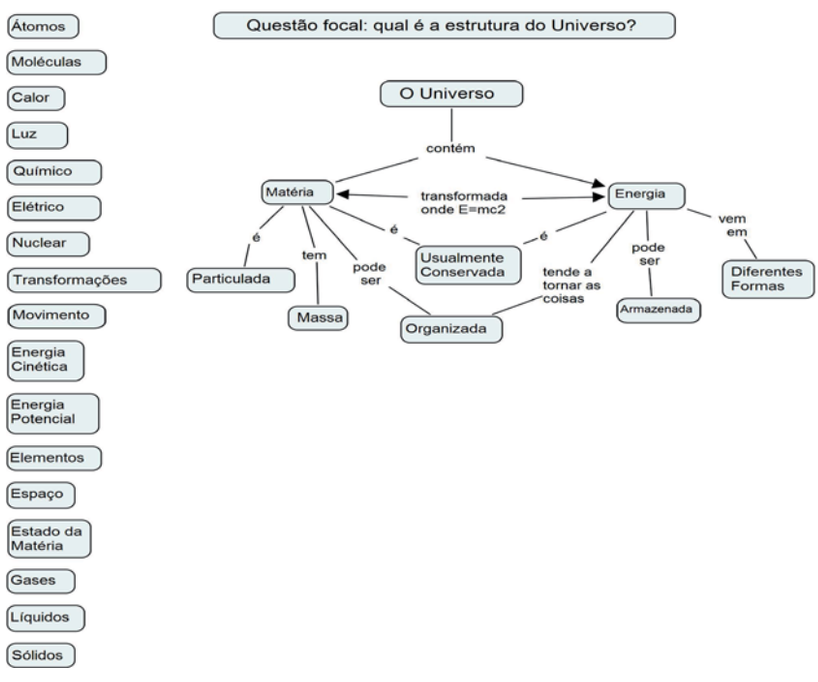



**Figura 11 -** Um "esqueleto" de mapa com um conceito chave que deve ser entendido como um fundamento para o aprendizado de Ciências, baseado estacionamento da Figura 10. Alguns conceitos foram deixados no estacionamento para que o estudante o insira no *Cmap.*

Uma das vantagens do uso do *CmapTools* como suporte para a aprendizagem é a função de busca mencionada anteriormente, que permite o acesso a fontes da Rede Mundial de Computadores

que são filtrados para se encaixarem ao contexto de significados definido pelo mapa conceitual (CARVALHO *et al.*, 2001; LEAKE *et al.*, 2004). Portanto, se você clica em um conceito como "energia elétrica" na Figura 12 e seleciona uma das opções de "busca" do menu, o *CmapTools* irá apresentar fontes não apenas relacionadas à eletricidade, mas também a outros conceitos no mapa. O programa tenta definir sobre o que é o *Cmap* e prepara uma consulta para ferramentas de busca da *web*, que, por sua vez, irão gerar resultados relevantes para as ideias em desenvolvimento no mapa conceitual. O aluno ainda precisa, é claro, selecionar novos conceitos a partir do material e elaborar novas proposições no mapa conceitual que tragam sentido e clareza para o mapa. Assim, o aluno ou grupo de alunos se envolve muito ativamente no processo de elaboração de significados, um requisito essencial para que a aprendizagem significativa ocorra.

internet superam em muito o que qualquer livro didático ou professor pode oferecer. Na verdade, os professores que supervisionam esse tipo de estudo têm a possibilidade de aprender tantas coisas novas quanto os seus estudantes. Além disso, usar os "esqueletos" de mapas conceituais como ponto de partida reduz a chance de que concepções errôneas ou que ideias incorretas sustentadas por alunos ou professores sejam reforçadas, maximizando a chance de que elaborem estruturas de conhecimento que, com o tempo, anulem ou reduzam as concepções errôneas (NOVAK, 2002).

## O Projeto *World of Science*

Em 1966, a Bobbs-Merrill publicou uma série de livros didáticos básicos de Ciências, *The World*

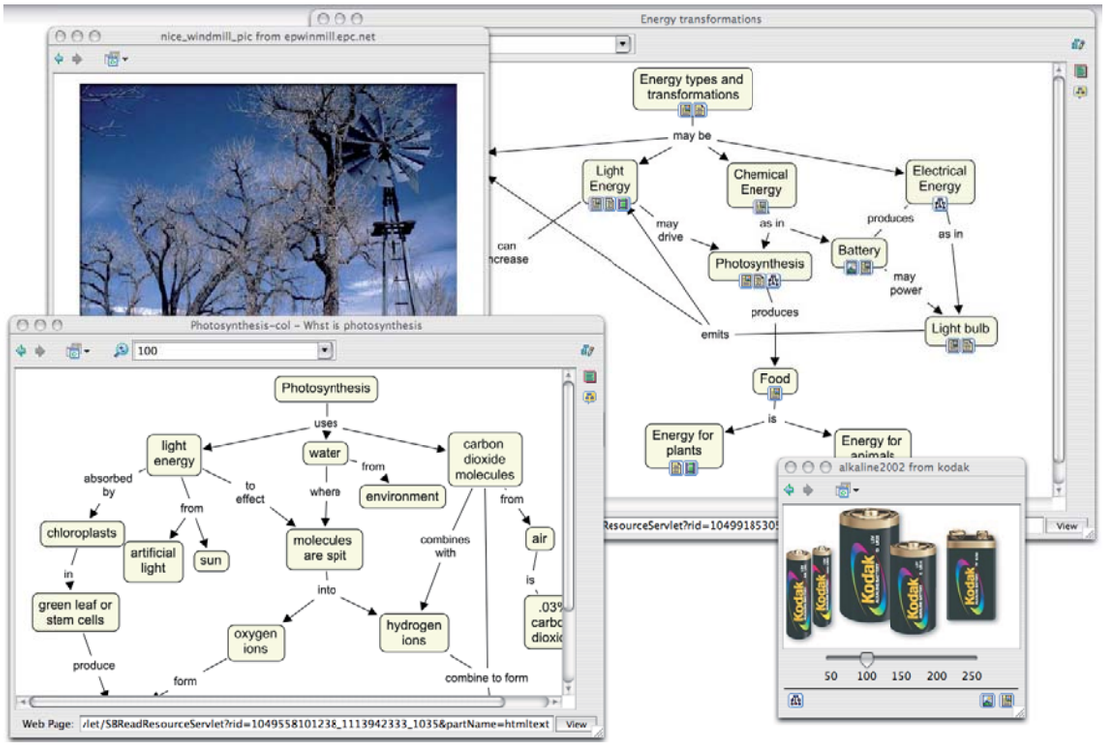



**Figura 12 -** Um *Cmap* de transformação de energia, que pode ser acessado por meio do link do conceito "Energia" no mapa conceitual da Figura 11, e o Cmap de Fotossíntese que pode ser "linkado" a ele.

Os alunos também podem se envolver em pesquisas de laboratório ou de campo, que lhes trarão experiências concretas importantes, necessárias para o desenvolvimento de sentidos mais completos para os conceitos, e, algumas vezes, o entusiasmo da descoberta de novas ideias ou relações.

A quantidade de temas e ideias que podem ser incorporados a estruturas de conhecimento usando "esqueletos" de mapas conceituais elaborados por especialistas, o programa *CmapTools* e fontes da

*of Science* (O mundo da ciência), escrito em grande parte por Novak com o objetivo de apresentar conceitos básicos de ciências para alunos e professores de escolas de ensino fundamental. Diferentemente da maioria dos livros didáticos de ciências para o ensino fundamental, essa série apresentava conceitos básicos em todos os níveis de forma aprofundada, incluindo a análise de conceitos relativos à natureza da Ciência, natureza da matéria, energia e transformações de energia. Os livros foram escaneados

e um DVD com todos os seis livros está a venda. Nosso plano é usar os livros da série *The World of Science* como ponto de partida para um projeto de apresentação de Um Novo Modelo de Educação. Para começar, "esqueletos" de mapas conceituais foram elaborados para algumas seções do livro para a segunda série e para todo o livro da quarta série, intitulado *The Expanding World of Science* (O mundo em expansão da Ciência). Todos esses "esqueletos" de mapas conceituais poderão servir de ponto de partida para alunos e professores para cada seção ilustrada no livro. Em seguida, os alunos poderão usar esses *Cmaps* juntamente com o programa *CmapTools* para buscar fonte e ideias pertinentes na internet. A Figura 13 mostra um dos "esqueletos" de mapas conceituais que poderão ser usados como ponto de partida para a elaboração de um modelo de conhecimento, preferencialmente com os alunos trabalhando em equipes e compartilhando ideias.




**Figura 13 -** Gráfico mostrando o Novo Modelo de Educação com um "esqueleto" de mapa conceitual que pode servir como "espinha dorsal" para um projeto de portfólio de Ciências.

Os livros de ciência oferecem textos relevantes e sugestões de atividades. É importante que o professor ajude os alunos a desenvolver essas atividades e outras similares, sendo que algumas podem ser buscadas na internet. Os alunos também poderão acrescentar seus próprios conceitos "esqueleto" de mapa conceitual, assim como fontes encontradas por meio de leituras ou da internet. A figura 14 ilustra um estágio desse processo[2].

Obviamente, esse poderia ser um programa de Ciências bastante deficiente, que se limitaria a colocar os estudantes para copiar e trabalhar um pouco sobre os "esqueletos" de mapas conceituais disponíveis para a segunda série, ou para qualquer outra. Estudantes precisam ter experiências concretas e práticas com coisas reais e observar fenômenos igualmente reais para acrescentar significados às lacunas conceituais presentes nos mapas conceituais e em outras ferramentas.

Um projeto de programa piloto já está sendo realizado na Itália, onde Giuseppe Valittuti (2004) e seus colegas estão trabalhando na tradução da série de livros *The World of Science* para o italiano. Valittuti e seus colegas obtiveram financiamento do Ministério da Educação da Itália para formação de professores e algumas equipes de escolas de ensino fundamental já começaram a trabalhar com os mapas conceituais e outras ferramentas da coleção *The World of Science* no decorrer dos anos de 2005-2006.

A meta é ter quarto conjuntos de escolas focadas em diferentes aspectos da coleção *The World of Science* e gerar fotos e vídeos dos alunos realizando projetos que ilustrem e utilizem os vários conceitos científicos. Espera-se que as salas de aula ofereçam bastante *feedback*, no intuito de ajudar as equipes a aprimorar seu trabalho, compartilhando "portfólios eletrônicos" por meio do *CmapTools*. Esse *feedback* nos ajudará a aprimorar rapidamente os mapas conceituais, técnicas e abordagens para aperfeiçoar a prática do Novo Modelo para a Educação. A rede do *CmapTools Network* pode servir como fiadora para alguns dessas tentativas por meio do servidores públicos envolvidos nelas na Itália e em outros países. Nós prevemos que um número abundante de dados, tanto empíricos quanto incidentais, será produzido a partir dessas tentativas dentro de alguns anos. Com base nas sólidas descobertas teóricas e de pesquisa disponíveis atualmente, temos todas as razões para estarmos otimistas quanto ao sucesso desses esforços inovadores. O progresso desse projeto pode ser acompanhado na página: <www.leparoledellascienza.it>.




**Figura 14 -** Gráfico mostrando o Novo Modelo de Educação com conceitos e recursos acrescentados ao "esqueleto" de mapa conceitual e uma página de um livro da coleção *The World of Science* disponibilizando atividades e leituras relevantes.

[2] A série de livros *The World of Science* foi publicada em 1966, portanto, algumas das ilustrações são datadas.

## Problemas de implementação

O maior desafio que podemos prever é o de mudar os fatores circunstanciais da escola no sentido de trazer à baila um professor que é treinador e aprendiz, em vez de um disseminador de informação, conforme prega o modelo prevalecente. Sabemos que precisamos envolver professores e gestores em programas de formação continuada que possam apresentar as novas abordagens educacionais, além de trocarmos ideias com eles sobre formas de aplicar o Novo Modelo para a Educação. Há também o desafio de se mudar os sistemas de avaliação, que atualmente se baseiam essencialmente em testes de múltipla escolha que avaliam, sobretudo, a capacidade de recordação mecânica de informações, trocando-os por testes de desempenho nos quais se exija que os alunos demonstrem o entendimento de conceitos básicos e possam usá-los na resolução de problemas novos, e nos quais possam se valer de fontes retiradas da internet para ampliar, modificar e aprender novos conceitos. Ainda existe muito espaço no Novo Modelo para a aquisição de dados e procedimentos específicos, esses, no entanto, agora devem ser aprendidos no contexto de poderosos quadros conceituais. A pesquisa (BRANSFORD *et al.*, 1999) mostrou que a informação factual adquirida no contexto da aprendizagem significativa não só é conservada por mais tempo, como pode ser usada com muito mais sucesso para a resolução de novos problemas.

Podemos esperar alguma resistência à aplicação do Novo Modelo de Educação por parte daqueles que acreditam que o ensino por "investigação" é a única forma de aprimorá-la. Na verdade, a pesquisa sustenta de modo contundente o valor da "investigação conduzida", como aquelas que estão envolvidos em Um Novo Modelo de Educação (MAYER, 2004; KIRSCHNER *et al*., 2006; SWELLER, *et al*., 2007).

Será preciso um enorme trabalho de formação de professores antes que o Novo Modelo possa ser aplicado nas escolas. Eles precisam se familiarizar ao programa *CmapTools* e às várias ferramentas que ele oferece. Também precisam aprender sobre a teoria subjacente à produção de mapas conceituais, incluindo as ideias nesse texto. Programas de formação de professores deverão apresentar o tipo de ensino que estamos recomendando, e neles poderemos usar como "esqueletos" de mapas conceituais alguns dos mapas presentes no livro de Novak (1998), que pode ser acessado através do diretório *on-line* "*IHMC Internal*" *CmapTools Place,* dentro da pasta "Joe Novak's/JNsLCUBook". Os professores deverão trabalhar em conjunto para elaborar alguns dos mapas conceituais mais simples sobre conceitos educacionais, adicionando, talvez, referências para alguns dos mapas conceituais mais complexos. Mesmo diante do cenário atual de recursos tecnológicos e consensos pedagógicos, é possível para escolas, estados e países criarem um Novo Modelo de Educação.

## Mapas conceituais para avaliação

Estamos começando a encontrar em vários livros didáticos de Ciências a inclusão de mapas conceituais como uma forma de resumir o conhecimento adquirido pelos alunos após estudarem uma unidade ou capítulo. A mudança nas práticas escolares é sempre lenta, mas é provável que o uso de mapas conceituais na educação escolar aumente de forma significativa em uma ou duas décadas. Também é possível encontrar práticas de avaliação quanto à compreensão de conteúdos disciplinares por parte dos alunos (MINTZES *et al.,* 2000). Quando os mapas conceituais são usados no ensino, eles também podem ser usados nas avaliações. Não há nenhuma regra pétrea afirmando que provas de múltipla escolha devam ser usadas desde o ensino fundamental até a universidade, de modo que talvez, com o passar do tempo, os mapas conceituais possam ser utilizados até mesmo em exames nacionais como uma poderosa ferramenta de avaliação. Essa, no entanto, acaba sendo uma questão do tipo "o ovo ou a galinha", pois os mapas conceituais não podem ser exigidos nos exames de avaliação nacionais quando a maioria dos alunos não teve a oportunidade de aprender a usar essa ferramenta de representação do conhecimento. Por outro lado, se os exames estaduais, regionais e nacionais começassem a incluir mapas conceituais como parte da avaliação, isso seria um grande incentivo para professores ensinarem aos alunos como usar essa ferramenta. Torcemos para que, nas próximas duas décadas, isso comece a acontecer. Atualmente, vários projetos nos EUA e em outros países estão realizando pesquisas no intuito de verificar se é possível desenvolvermos melhores ferramentas de avaliação, entre elas os mapas conceituais. Provavelmente começaremos a notar avanços significativos nessa área dentro de alguns anos. Alguns recursos das versões mais recentes do *CmapTools* também facilitam o uso de mapas conceituais para avaliações. Por exemplo, a ferramenta "Comparar mapas conceituais" permite a comparação de um mapa conceitual elaborado por um "especialista" para um determinado tema com mapas elaborados por alunos, sendo que todos os conceitos e proposições similares ou diferentes são mostrados em cores.

## Mapas conceituais e planejamento curricular

Mapas conceituais podem ser de enorme utilidade no planejamento curricular. Eles apresentam de forma altamente concisa os conceitos-chave e princípios a serem ensinados. A organização hierárquica dos mapas conceituais indica um sequenciamento otimizado do material didático. Uma vez que a característica fundamental da aprendizagem significativa é a integração do novo conhecimento aos conceitos e estruturas proposicionais prévias dos aprendizes, partir dos conceitos mais gerais, mais inclusivos, para a informação mais específica geralmente serve para incentivar e aprimorar a aprendizagem significativa. Desse modo, no planejamento curricular, precisamos elaborar um "macro-mapa" global, mostrando as ideias principais que planejamos apresentar no conjunto do curso, ou no currículo como um todo, e também "micro mapas" mais específicos, para mostrar a estrutura de conhecimento para um segmento muito específico programa instrucional. Membros do corpo docente trabalhando de forma independente ou em grupo podem reformular programas de curso ou um currículo inteiro. Por exemplo, o mapa conceitual mostrado na Figura 15 foi elaborado por docentes que trabalharam em conjunto para planejar o ensino de medicina veterinária na Universidade de Cornell.

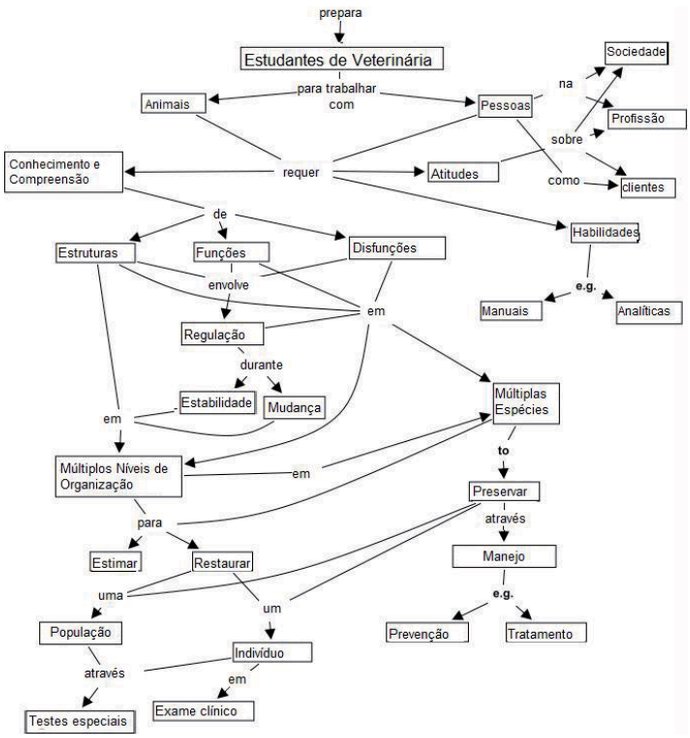



**Figura 15 -** Um mapa conceitual elaborado em conjunto pelo corpo docente da Escola de Medicina Veterinária da Universidade de Cornell para mostrar a estrutura geral de um currículo reformulado.

O uso de mapas conceituais no planejamento de um currículo ou da ementa de uma disciplina específica ajuda a tornar o ensino "conceitualmente transparente" para os alunos. Muitos deles têm dificuldades em identificar os conceitos importantes em um texto, palestra ou outra forma de apresentação. Parte do problema está em um padrão de aprendizagem que exige apenas memorização da informação e nenhuma análise dessa mesma informação. Esses alunos não conseguem elaborar estruturas conceituais e proposicionais sólidas, o que os leva a encarar o aprendizado como um aglomerado confuso de fatos, datas, nomes, equações ou regras de procedimento a serem gravadas. Para eles, o conteúdo da maior parte das disciplinas, e especialmente Ciências, Matemática e História, são uma cacofonia de informações a memorizar, o que geralmente acham entediante. Muitos se sentem incapazes de dominar o conhecimento de sua área. Quando mapas conceituais são usados para planejar o ensino e se exige que os alunos os elaborem à medida que aprendem, estudantes anteriormente mal sucedidos podem passar a ter sucesso em compreender Ciências e qualquer outra disciplina, adquirindo um sentimento de controle sobre os conteúdos disciplinares (BASCONES; NOVAK, 1985; NOVAK, 1991, 1998).

## Apreensão e armazenamento do conhecimento especializado

Um dos usos dos mapas conceituais que está crescendo rapidamente é o da captura do conhecimento "tácito" dos especialistas. Os especialistas sabem muitas coisas que frequentemente não conseguem transmitir bem para as outras pessoas. Esse conhecimento tácito é adquirido através de anos de experiência e deriva em parte de atividades do especialista que envolvem pensamento, sentimento e ação. Geralmente, os especialistas se referem a necessidade de "sentir empatia pelo seu objeto de trabalho". Inclusive, a biografia de uma vencedora do prêmio Nobel em Biologia (Barbara Mcclintock) é intitulada *A Feeling for the Organism* (Afeto pelo organismo) (KELLER, 1983). Nonaka e Takeuchi (1995) enfatizam como é importante para uma empresa apreender e usar o conhecimento tácito de seus especialistas se ela quiser se tornar "uma companhia que gera conhecimento".

A maioria dos métodos usados antes dos mapas conceituais consistia em várias formas de entrevistas e análises com especialistas, incluindo estudos de caso sobre como eles realizaram seus feitos extraordinários (HOFFMAN *et al.*, 1995; KLEIN; HOFFMAN, 1992). Na verdade, esses métodos continuam a ser muito populares entre vários cientistas

cognitivos, muitos dos quais não conhecem o trabalho de Ausubel e o tipo de ideias epistemológicas nas quais se baseia a produção de mapas conceituais. Uma revisão dos sumários de vinte livros recentes sobre ciência cognitiva revelou que nenhum dele trazia a palavra “epistemologia” em seu índice.

Nós também utilizamos “entrevistas clínicas” no início de nossos trabalhos, conforme mencionado acima, porém, sentimos a necessidade de bolar uma melhor forma para representar o que nossos aprendizes sabiam e como o seu conhecimento mudava ao longo do tempo. No IHMC, começa-mos usando en-trevistas para identificar o conhecimento especializado necessário para a interpretação de relatórios computadorizados produzidos por uma máquina feita para avaliar problemas cardíacos, após a injeção de uma pastilha radioativa, e para diagnosticar disfunção coronariana (FORD *et al.*, 1991; FORD *et al.*, 1996). Entretanto, quando começamos a elaborar mapas conceituais com o conhecimento especializado de um cardiologista que literalmente “escreveu o livro” sobre essa tecnologia, ficou claro que havia conceitos faltando no mapa, e que o “conhecimento tácito” do nosso especialista não havia sido expressado por completo em seu livro ou em nossas entrevistas. Assim, o mapa conceitual não apenas nos permitiu representar o conhecimento especializado, como também encontrar lacunas na estrutura de conhecimento que estávamos obtendo por meio de entrevistas.

Por mais que saibamos que entrevistas, estudos de caso, análise de “incidentes críticos” e técnicas similares sejam úteis para extrair e representar o conhecimento especializado, ainda é provável que o produto final desses estudos seja mais bem representado na forma de mapas conceituais, talvez com

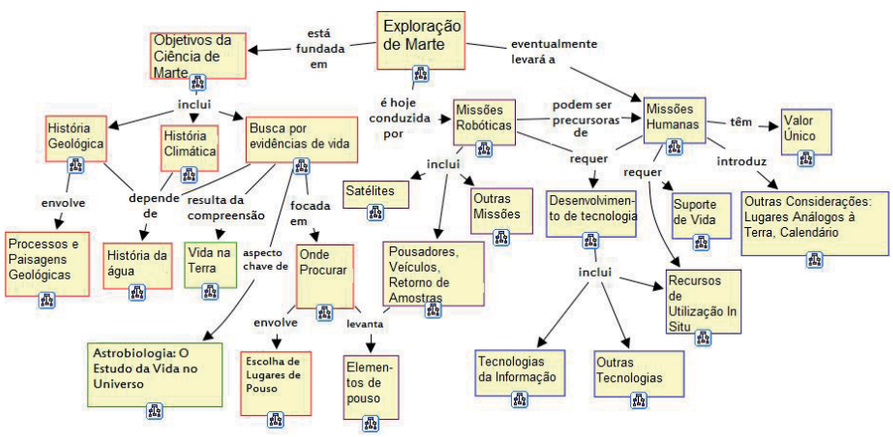



**Figura 16 -** Um mapa conceitual “interno” para o portfólio de conhecimentos criado pela NASA para a exploração de Marte.

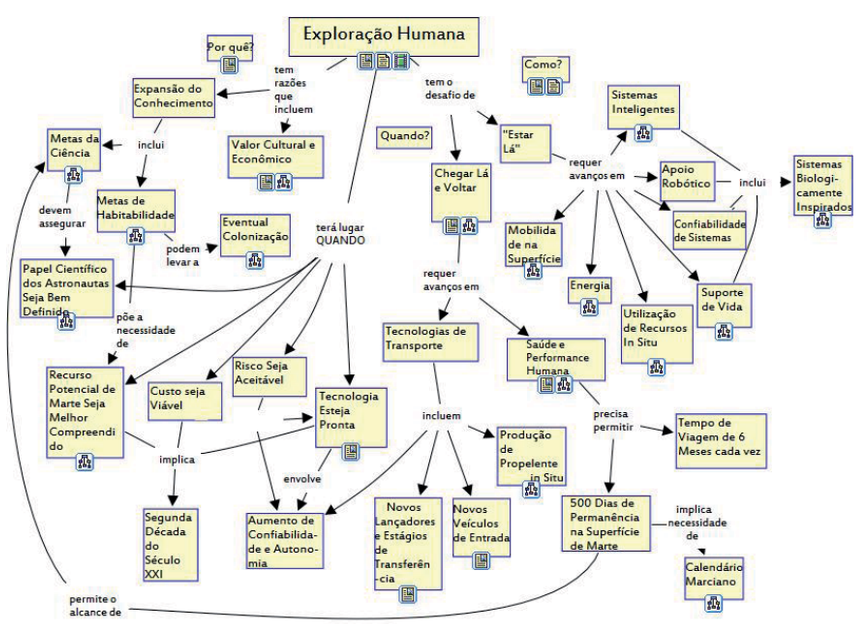



**Figura 17 -** Um exemplo de mapa conceitual que pode ser acessado clicando em um dos recursos anexados a um conceito na figura 16.

alguns dos dados da entrevista e outras informações apresentadas através de ícones nos próprios mapas.

No IHMC, nós continuamos nos dedicando bastante à área de apreensão e representação do conhecimento especializado (COFFEY *et al.*, 2002). Com a evolução do programa *CmapTools*, ele foi se tornando uma ferramenta cada vez mais útil para esse trabalho, conforme deixam claro as extraordinárias referências sobre Marte elaboradas pelo Centro Ames para a Exploração de Marte da NASA (BRIGGS *et al.*, 2004). A Figura 16 mostra um mapa conceitual "interno" para o portfólio de conhecimentos que Briggs criou, enquanto a Figura 17 mostra um dos vários submapas elaborados por ele.

A totali-dade desses mapas concei-tuais pode ser vista em: http://cmex.ihmc.us. Em acréscimo aos submapas, uma ampla variedade de recursos digitais pode ser acessada por meio dos mapas conceituais. Muitos outros projetos podem se encontrados no *IHMC Public CmapServer*, o servidor de acesso público do *Cmap*, através da ferramenta *CmapTools*, incluindo projetos referentes à previsão do tempo (HOFFMAN *et al.*, 2000. Disponível em: http://www.ihmc.us/research/projects/StormLK/), técnicos em eletrônica (COFFEY *et al.*, 2003), e tecelagem tailandesa.

**Conclusões**

Neste artigo nós procuramos apresentar as fundamentações teóricas e as origens do que chamamos de mapas conceituais. Embora à primeira vista os mapas possam parecer apenas mais uma representação gráfica de informações, compreender os fundamentos dessa ferramenta e seu uso adequado mostrará ao usuário que, na verdade, ela se trata de uma ferramenta verdadeiramente profunda e poderosa. A princípio, pode parecer um simples arranjo de palavras em uma hierarquia, mas quando se organiza com atenção os conceitos representados pelas palavras e as proposições ou ideias são elaboradas com palavras de ligação bem escolhidas, começa-se a perceber que o mapa conceitual é ao mesmo tempo simples e dono de uma complexidade elegante, possuindo significados profundos. Já ficou provado que a produção de mapas conceituais ajuda alunos a aprenderem, pesquisadores a elaborarem novos conhecimentos, administradores a melhor estruturarem e gerenciarem empresas, escritores a escreverem melhor e professores a avaliarem o aprendizado. Assim como qualquer ferramenta, ela também pode ser mal utilizada, conforme demonstramos em alguns exemplos.

Nós também desejamos que este documento sirva de base para futuras experiências, críticas e diálogos no que se refere ao uso dessa ferramenta. A página na internet do *CmapTools* possibilita um intercâmbio dinâmico entre usuários e pesquisadores. Este próprio artigo deve ser encarado como um documento "vivo", que será revisado periodicamente à medida que acumulamos conhecimentos novos e experiências ao utilizarmos essa ferramenta. Nós convidamos todos os adeptos dos mapas conceituais e do *CmapTools* a participar desse diálogo.

## Referências


ANDERSON, O. R. Some interrelationships between constructivist models of learning and current neurobiological theory, with implications for science education**. Journal of Research in Science Teaching**, v. 19, n. 10, p. 1037-1058, 1992.

AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune and Stratton, 1963.

AUSUBEL, D. P. **Educational psychology**: a cognitive view. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational psychology**: a cognitive view. 2. ed. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1978.

BASCONES, J.; NOVAK, J. D. Alternative instructional systems and the development of problem solving skills in physics. **European Journal of Science Education**, v. 7, n. 3, p. 253-261, 1985.

BEIRUTE, L.; MAYORGA, L. F. **Los mapas conceptuales herramienta poderosa en la resolución alternativa de conflictos**. In: CAÑAS, A. J.; NOVAK, J. D.; GONZÁLEZ, F. M. (Eds.). Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the 1st international conference on concept mapping. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra, 2004. v. 1.

BERK, L. E.; WINSLER, A. **Scaffolding Children's Learning**: Vygotsky and early childhood education. Washington, D.C.: National Association for Education of Young Children, 1995.

BLOOM, B. S. **Taxonomy of educational objectives**: the classification of educational goals. New York: Longmans Green, 1956.

BRANSFORD, J.; BROWN, A. L.; COCKING, R. R. (Eds.). **How people learn**: Brain, mind, experience, and school. Washington, D.C.: National Academy Press, 1999.

BRIGGS, G.; SHAMMA, D. A.; CAÑAS, A. J.; CARFF, R.; SCARGLE, J.; NOVAK, J. D. Concept maps applied to Mars exploration public outreach. In: CAÑAS, A. J.; NOVAK, J. D.; GONZÁLEZ, F.; (Eds.). **Concept maps**: theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra, 2004. v. 1, p. 109-116.

CAÑAS, A. J.; CARFF, R.; HILL, G.; CARVALHO, M.; ARGUEDAS, M.; ESKRIDGE, T.; et al. Concept maps: integrating knowledge and information visualization. In: TERGAN, S.O.; KELLER, T. (Eds.). **Knowledge and information visualization**: searching for synergies. Heidelberg/NY: Springer Lecture Notes in Computer Science, 2005. p. 205-219.

CAÑAS, A. J.; FORD, K. M.; BRENNAN, J.; REICHHERZER, T.; HAYES, P.; **Knowledge construction and sharing in quorum**. Paper presented at the Seventh World Conference on Artificial Intelligence in Education, Washington DC, 1995.

CAÑAS, A. J.; FORD, K. M.; NOVAK, J. D.; HAYES, P.; REICHHERZER, T.; SURI, N. Online concept maps: enhancing collaborative learning by using technology with concept maps. **The Science Teacher**, v. 68, n. 4, p. 49-51, 2001.

CAÑAS, A. J.; HILL, G.; CARFF, R.; SURI, N.; LOTT, J.; ARROYO, M.; et al. CmapTools: Una rete per modellizare e condividere la conoscenza. In: SPAZIANTE, A. (Ed.). **La conoscenza come bene pubblico comune**: Software, dati, saperi. Torino: CIS-Piemonte, 2004 a. p. 51-62.

CAÑAS, A. J.; HILL, G.; CARFF, R.; SURI, N.; LOTT, J.; ESKRIDGE, T.; et al. CmapTools: A knowledge modeling and sharing environment. In: CAÑAS, A. J.; NOVAK, J. D.; GONZÁLEZ, F. M. (Eds.). **Concept maps**: theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra, 2004b. v. 1, p. 125-133.

CAÑAS, A. J.; HILL, G.; GRANADOS, A.; PÉREZ, C.; PÉREZ, J. D. **The network architecture of CmapTools** (Technical Report No. IHMC CmapTools 2003-01). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition, 2003a.

CAÑAS, A. J.; HILL, G.; LOTT, J. **Support for constructing knowledge models in CmapTools** (Technical Report No. IHMC CmapTools 2003-02). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition, 2003b.

CAÑAS, A. J.; HILL, G.; LOTT, J.; SURI, N. **Permissions and access control in CmapTools** (Technical Report No. IHMC CmapTools 2003-03). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition, 2003c.

CAÑAS, A. J.; NOVAK, J. D. **A concept map-centered learning environment**. Paper presented at the Symposium at the 11th Biennial Conference of the European Association for Research in Learning and Instruction (EARLI), Cyprus, 2005.

CARVALHO, M. R.; HEWETT, R.; CAÑAS, A. J. Enhancing web searches from concept map-based knowledge models. In: CALLAOS, N.; TINETTI , F. G.; CHAMPARNAUD, J. M.; LEE , J. K. (Eds.), **Proceedings of SCI 2001**: fifth multiconference on systems, cybernetics and informatics. Orlando, FL: International Institute of Informatics and Systemics, 2001. p. 69-73.

COFFEY, J. W.; CAÑAS, A. J.; REICHHERZER, T.; HILL, G.; SURI, N.; CARFF, R.; et al. Knowledge modeling and the creation of el-tech: a performance support system for electronic technicians. **Expert Systems with Applications**, v. 25, n. 4, p. 483-492, 2003.

COFFEY, J. W.; HOFFMAN, R. R.; CAÑAS, A. J.; FORD, K. M. A concept-map based knowledge modeling approach to expert knowledge sharing. In: BOUMEDINE M. (Ed.). **Proceedings of IKS 2002** - the IASTED international conference on information and knowledge sharing. Calgary, Canada: Acta Press, 2002. p. 212-217.

DERBENTSEVA, N.; SAFAYENI, F.; CAÑAS, A. J. Experiments on the effect of map structure and concept quantification during concept map construction. In: CAÑAS A. J.; NOVAK, J. D.; GONZÁLEZ , F. M. (Eds.). **Concept maps**: theory, methodology, technology, proceedings of the first international conference on concept mapping. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra, 2004.

DERBENTSEVA, N.; SAFAYENI, F.; CAÑAS, A. J. Concept maps: experiments on dynamic thinking. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 44, n. 3, 2006.

EDMONDSON, K. Assessing science understanding through concept maps. In: MINTZES, J.; WANDERSEE, J.; NOVAK , J. (Eds.). **Assessing science understanding**. San Diego: Academic Press, 2000. p. 19-40.

EDWARDS, J.; FRASER, K. **Concept maps as reflections of conceptual understanding**. Research in Science Education, 1983. v. 13, p. 19-26.

FORD, K. M.; CAÑAS, A. J.; JONES, J.; STAHL, H.; NOVAK, J. D.; ADAMS, W, J. Iconkat: an integrated constructivist knowledge acquisition tool. **Knowledge Acquisition**, v. 3, p. 215-236, 1991.

FORD, K. M.; COFFEY, J. W.; CAÑAS, A. J.; ANDREWS, E. J.; TURNER, C. W. Diagnosis and explanation by a nuclear cardiology expert system. **International Journal of Expert Systems**, v. 9, p. 499-506, 1996

GARDNER, H. **Frames of Mind**: the theory of multiple intelligences. New York: Basic Books, 1983.

HOFFMAN, B. **The tyranny of testing**. New York: Corwell-Collier, 1962.

HOFFMAN, R. R.; COFFEY, J. W.; FORD, K. M. **A case study in the research paradigm of human-centered computing**: local expertise in weather forecasting. Report on the contract "human-centered system prototype". Washington, DC: National Technology Alliance, 2000.

HOFFMAN, R. R.; SHADBOLT, N. R.; BUTON, A. M.; KLEIN, G. Eliciting knowledge from experts: A methodological analysis**. Organizational Behavior and Human Design Processes**, v. 62, n. 2, p. 129-158, 1995.

HOLDEN, C. Study flunks science and math tests. **Science Education**, v. 26, p. 541, 1992.

JOHNSON, D.; MARUYAMA, G.; JOHNSON, R.; NELSON, D.; SKON, L. The effects of cooperative, competitive and individualistic goal structure on achievement: a meta-analysis. **Psychological Bulletin**, v. 89, p. 47-62, 1981.

KELLER, E. F. **A feeling for the organism**: the life and work of Barbara McClintock. San Francisco: W.H. Freeman, 1983.

KIRSCHNER, P.A.; SWELLER, J.; CLARK, R. E. Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. **Educational Psychologist**, v. 41, n. 2, p. 75-86, 2006.

KLEIN, G.; HOFFMAN, R. R. Seeing the invisible: perceptual-cognitive aspects of expertise. In M. Robinowitz (Ed.). **Cognitive science foundations of instruction**. Mawah, N, J.: Lawrence Erlbaum, 1992. p. 203-226.

LEAKE, D. B.; MAGUITMAN, A.; REICHHERZER, T.; CAÑAS, A. J.; CARVALHO, M.; ARGUEDAS, M.; et al. Googling from a concept map: towards automatic concept-map-based query formation. In: CAÑAS, A. J.; NOVAK , J. D.; GONZÁLEZ, F. M. (Eds.). **Concept maps**: theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra, 2004. v. 1, p. 409-416.

MACNAMARA, J. **Names for things**: A study of human learning. Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1982.

MAYER, R. E. Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for Guided Methods of instruction. **American Psychologist**, v. 59, n. 1, p. 14-19, 2004.

MILLER, G. A. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. **Psychological Review**, v. 63, p. 81-97, 1956.

MINTZES, J. J.; WANDERSEE, J. H.; NOVAK, J. D. **Teaching science for understanding**: a human constructivist view. San Diego: Academic Press, 1998.

MINTZES, J. J.; WANDERSEE, J. H.; NOVAK, J. D. **Assessing science understanding**: a human constructivist view. San Diego: Academic Press, 2000.

NICKERSON, R. S.; ADAMS, M. J. **Long-term memory for a common object**. Cognitive Psychology, 1979. v. 11, p. 287-307.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **The knowledge-creating company**: how japanese companies create the dynamics of innovation. New York: Oxford University Press, 1995.

NOVAK, J. D. **A theory of education**. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1977.

NOVAK, J. D. Concept maps and vee diagrams: two metacognitive tools for science and mathematics education. **Instructional Science**. v. 19, p. 29-52, 1990.

NOVAK, J. D. Clarify with concept maps: a tool for students and teachers alike. **The Science Teacher**, v. 58, p. 45-49, 1991.

NOVAK, J. D. Human constructivism: a unification of psychological and epistemological phenomena in meaning making. **International Journal of Personal Construct Psychology**, v. 6, p. 167-193, 1993.

NOVAK, J. D. **Learning, creating, and using knowledge**: concept maps as facilitative tools in schools and corporations. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.

NOVAK, J. D. Meaningful learning: the essential factor for conceptual change in limited or appropriate propositional hierarchies (liphs) leading to empowerment of learners. **Science Education**, v. 86, n. 4, p. 548-571, 2002.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Learning how to learn**. New York, NY: Cambridge University Press, 1984.

NOVAK, J. D.; MUSONDA, D. A twelve-year longitudinal study of science concept learning. **American Educational Research Journal**, v. 28, n. 1, p. 117-153, 1991.

NOVAK, J. D.; WANDERSEE, J. Coeditors, special issue on concept mapping. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 28, n. 10, 1991.

O'DONNELL, A.; DANSEREAU, D.; HALL, R. H. Knowledge maps as scaffolds for cognitive processing. **Educational Psychology Review**, v. 14, p. 71-86, 2002.

PENFIELD, W.; PEROT, P. **The Brain's record of auditory and visual experience**: a final summary and discussion. Brain, 1963. v. 86, p. 595-697.

PRESZLER, R. W. Cooperative concept mapping improves performance in Biology. **Journal of College Science Teaching**, v. 33, p. 30-35, 2004.

SCHNEPS, M. **Private universe project**: Harvard University, 1989.

SHEPARD, R. N. Recognition memory for words, sentences, and pictures. **Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior**, v. 6, p. 156-163, 1967.

SPERLING, G. The information available in brief visual presentations. **Psychological Monographs**: General and Applied, v. 74, n. 11, p. 1-30, 1960.

SPERLING, G. A model for visual memory tasks. **Human Factors**, v. 5, p.19-31, 1963.

SWELLER, J.; KIRSCHNER, P. A.; CLARK, R. E. Why minimally guided teaching techniques do not work: a reply to commentaries. **Educational Psychcologist**, v. 42, n. 2, p. 115-121, 2007.

TSIEN, J. Z. The Memory. **Scientific American**, p. 52-59, jul. 2007.

VALITTUTI, G. **Personal communication**, 2004.

VITALE, M. R.; ROMANCE, N. R. Portfolios in science assessment: a knowledge-based model for classroom practice. In: MINTZES, J. J.; WANDERSEE, J. H.; NOVAK, J. D. (Eds.). **Assessing science understanding**: a human constructivist view. San Diego, CA: Academic Press, 2000.

VYGOTSKY, L.; COLE, M. **Mind in society**: the development of higher psychological processes. Cambridge: Harvard University Press, 1978.

Recebido em 30/06/2008

Aceito em 28/10/2009