

## PRODUÇÃO DE MODELOS PARA A INVESTIGAÇÃO DE REPRESENTAÇÕES SUB-MICROSCÓPICAS DE ESTUDANTES DE ENSINO MÉDIO SOBRE MUDANÇAS DE ESTADO FÍSICO DA MATÉRIA

*SANA, TÂNIA CRISTINA VARGAS*<sup>(1)</sup>; *ARROIO, AGNALDO*<sup>(2)</sup>; *REZENDE, DAISY DE BRITO*<sup>(3)</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo – Brasil

<sup>2</sup> Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo – Brasil

<sup>3</sup> Instituto de Química – Universidade de São Paulo – Brasil

<sup>1</sup> [vargastania@ig.com.br](mailto:vargastania@ig.com.br)

<sup>2</sup> [agnaldoarroio@yahoo.com](mailto:agnaldoarroio@yahoo.com)

<sup>3</sup> [dbrezend@gmail.com](mailto:dbrezend@gmail.com)

### RESUMO

Este trabalho analisou a percepção de estudantes do 2º e 3º anos do Ensino Médio quanto à representação sub-microscópica de processos de mudança de estado físico de diferentes materiais. A sequência didática desenvolvida iniciou-se pela leitura de um texto, seguindo de uma aula experimental sobre pontos de fusão e ebulição de substâncias puras e misturas. Após discussões coletivas sobre os resultados coletados, foi proposto que os estudantes elaborassem imagens sub-microscópicas sobre mudança de estado físico. A princípio houve dificuldade dos estudantes exporem seus modelos e as representações no sub-micro nessa fase, além de simples, apresentavam erros conceituais, tais como: a posição espacial das partículas ou a indistinção entre substância e mistura, na representação. Na segunda fase da pesquisa, após discussões sobre as imagens produzidas, foi elaborada uma animação por grupo, tendo sido identificada uma evolução considerável dos modelos expressos por apresentarem características mais consistentes cientificamente, como também o discurso dos estudantes tornou-se mais coerente e seguro. Recomendamos que sejam criadas oportunidades para que os estudantes construam modelos sobre fenômenos, pois favorece a percepção de suas dificuldades conceituais e contribui para que desenvolvam concepções escolares mais próximas daquelas aceitas pela comunidade científica.

**Palabras clave:** imagem, representação, sub-microscópico.

## INTRODUÇÃO

De acordo com Johnstone (2000), um entendimento completo dos fenômenos químicos se dá quando há integração dos três níveis em que se organizaria o conhecimento químico: *o nível macroscópico*, referente aos fenômenos, ao que é observável, mensurável; *o nível microscópico (ou sub-microscópico)*, ao não observável, aos modelos atômico-moleculares, e por fim, *as representações simbólicas*, equações e símbolos que auxiliam no entendimento da Química.

Kozma e Russel (1997) afirmam que, mais do que outras ciências, a compreensão da Química baseia-se em atribuir sentido ao invisível e intocável, ou seja, muito da compreensão da Química existe em um nível molecular que não é acessível à percepção direta; no entanto, os professores tendem a ater-se apenas ao sensorial quando, por exemplo, se utilizam de experimentos em que se indica a ocorrência de uma reação química através de critérios tais como mudança de cor, liberação de gás ou formação de precipitado, sem problematização das limitações dessa abordagem, instigando, assim, apenas o poder de observação sensorial do estudante em detrimento de outros níveis de compreensão do fenômeno, que levariam à ampliação da representação do conceito.

### Modelos e as representações

A importância do uso de modelos para o ensino de Ciências tem sido amplamente discutido na literatura, sendo que muitas dessas pesquisas mostram a importância da construção de modelos para o ensino de Química (Johnson-Laird, 1983; Norman, 1983; Greca e Moreira, 1996; Ferreira e Justi, 2008).

Borges (1997) define, de forma simples, modelo como sendo algo que existe na mente de alguém, enquanto Johnson-Laird (1983), em estudos sobre representações, sugere que as pessoas raciocinam através de modelos mentais. Gilbert (2004) aponta que, embora o modelo mental de um indivíduo seja pessoal e inacessível para outras pessoas, quando este é exteriorizado pode ser submetido a um grupo social, por exemplo, um grupo de alunos, sendo chamado de modelo expresso. Quando aceito pelo grupo, torna-se um modelo consensual. Quando o modelo consensual é trabalhado e aceito pela comunidade científica é, então, denominado modelo científico que, por sua vez, se substituído, passa a ser um modelo histórico.

No presente trabalho, considera-se que representações internas sejam modelos mentais, enquanto as representações externas são uma forma de expressão das representações internas, não se constituindo necessariamente em cópias fiéis das representações criadas mentalmente.

### O uso de multimídia no Ensino de Ciências

Uma das acepções<sup>1</sup> para o termo multimídia é a de um sistema que combina som, imagens estáticas, animação, vídeo e textos, com funções educativas, dentre outras. Nessa

---

1 No dicionário Aurélio: Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda. Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. 5. ed. Brasil: Positivo, 2010. 2272 p. Disponível em: <<http://www.dicionariodoaurelio.com>>. Acesso em: 20 maio 2015.

mesma concepção, Mayer (2003)<sup>2</sup> afirma que multimídia é a apresentação simultânea de palavras e imagens, podendo as palavras ser escritas e faladas e as imagens ser estáticas ou dinâmicas.

Após várias pesquisas com o uso da abordagem multimídia, Moreno e Mayer propuseram ser o ambiente interativo multimodal a melhor forma de construção do conhecimento (Moreno e Mayer, 2007); esse ambiente é caracterizado quando o que acontece depende das ações do aluno, ou seja, é um ambiente em que a comunicação é multidirecional, não se dando em um único sentido, como ocorre quando o professor detém toda a ação, tanto na sala de aula como no uso de ferramentas multimídia. Em um ambiente não interativo de aprendizagem multimodal, uma mensagem multimídia é apresentada de forma pré-determinada, independente de qualquer movimento do aluno durante sua aprendizagem. Nessa perspectiva, Moreno e Mayer (2007) distinguiu duas visões de aprendizagem: aquisição de informação e construção do conhecimento. A aquisição de informação ocorre quando há adição de informações à memória do aluno, por exemplo, a demonstração de uma animação narrada ou a leitura/lição de um livro didático. Na visão da construção do conhecimento, a aprendizagem envolve a construção de uma representação mental, processo durante o qual o aluno seleciona, organiza e integra novas informações ao conhecimento já existente (*vide* Figura 1; Moreno e Mayer, 2007).

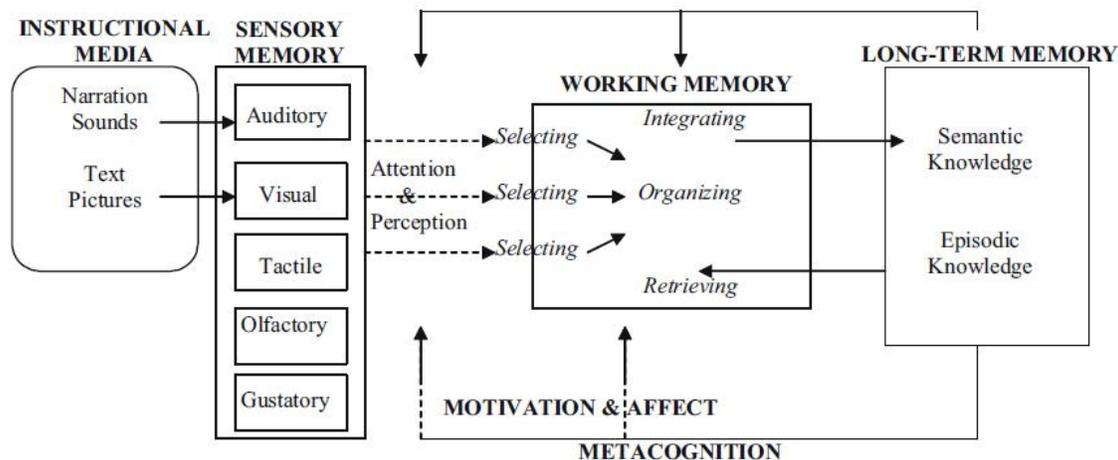


Figura 1: Modelo de aprendizagem com a mídia (Mayer, 2007).

Em síntese, a utilização de diferentes ferramentas no processo de ensino e aprendizagem, de acordo com o proposto na literatura (Moreno e Mayer, 2007), deve favorecer a construção do conhecimento quanto à produção de modelos. Assim, a partir da expressão de modelos mentais e sua socialização, o estudante pode construir um novo modelo, por exemplo, através da produção de uma animação. Na perspectiva de Moreno e Mayer

2 Richard Mayer é professor de Psicologia da Universidade da Califórnia e tem dirigido sua pesquisa à aprendizagem multimídia, no qual estabelece que pessoas aprofundem mais seus conhecimentos a partir de imagens e palavras, do que apenas palavras isoladas, como é geralmente feito nas escolas atualmente.

(2007), essa atividade estaria facilitando a construção do conhecimento pela manipulação autônoma do estudante, seja através de uma animação ou de outra ferramenta multimídia. Neste contexto, investigou-se uma proposta de construção do conhecimento utilizando-se a produção de uma animação a partir de modelos consensuais (modelos aceitos pelo grupo). Nossa proposta está apresentada na Figura 2, que foi estruturada com base na literatura sobre aprendizagem em um ambiente interativo multimodal e concepções de modelo (Moreno e Mayer, 2007; Gilbert, 2004).

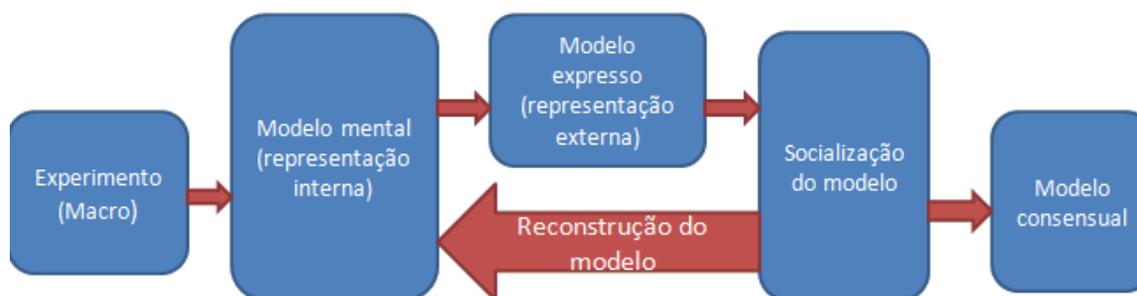


Figura 2: Proposta da elaboração do modelo

### METODOLOGIA

O grupo de estudo foi 32 estudantes do 2º e 3º anos do Ensino Médio, de uma escola particular da cidade de São Paulo. No primeiro encontro foi feita a leitura de um texto denominado “*Por que sentimos o cheiro?*”. Este texto abordavam-se alguns conceitos básicos sobre a relação entre estados físicos e as interações moleculares, porém de uma forma não tão imediata. Em outro encontro, foram feitos 13 grupos, que realizaram dois experimentos, abordando ponto de fusão da água e da mistura água/glicerina e ponto de ebulição da parafina e da naftalina, com o objetivo de que os alunos observassem e registrassem os diferentes comportamentos dos materiais.

Em encontro subsequente, e após a atividade no laboratório, os estudantes responderam individualmente a algumas questões relacionadas ao experimento e foi feita uma discussão geral sobre as respostas elaboradas. Em seguida, foi proposto que os alunos, nos mesmos grupos, produzissem em cartolina, imagens no domínio sub-microscópico, sobre o processo de mudança de estado físico de qualquer substância ou mistura. Para uma interpretação menos ambígua das imagens produzidas, foram feitas entrevistas com os grupos, para que eles pudessem explicitar suas representações. Em um próximo encontro, houve exposição e discussão entre os grupos sobre algumas representações produzidas, com o objetivo de interação e reavaliação dos modelos dos estudantes. Em seguida, foi pedido que os grupos produzissem um vídeo de animação desses modelos, referente aos fenômenos observados.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A princípio, quando foi pedido para os estudantes produzirem imagens sub-microscópicas sobre mudança de estado físico, eles se apresentaram muito perdidos, indicando que não faziam ideia de como expor essas imagens, mas, aos poucos, foram se familiarizando com essa possibilidade. Isso indica que representações sub-microscópicas não são exploradas como deveriam, pois a falta de intimidade que todos demonstraram

em relação ao domínio sub-micro foi muito grande, como se isso quase não tivesse feito parte de sua vida escolar.

Neste artigo, selecionamos arbitrariamente 2 produções para discussão, a título de exemplo. O grupo 1 indicou, na cartolina, tanto o macro como o sub-micro conforme mostrado na Figura 3.

Imagem – grupo 1	Comentário
	No ponto de ebulição, utilizou a água, representando-a por bolinhas, na fusão, representou manteiga derretendo, sendo que, no sub-micro, a mistura foi representada também com bolinhas, não havendo distinção entre substância pura e mistura. Os alunos desse grupo procuraram indicar a distância entre as partículas nos diferentes estados físicos, como também que as partículas estão em movimento, porém somente no estado gasoso.

Figura 3 – Representação no domínio sub-micro da transformação de água/manteiga, feita por um dos grupos.

Este grupo, durante a entrevista para a explicação das imagens, citou as forças intermoleculares, o que não ocorreu com quaisquer dos outros grupos.

Aluno ER: No estado líquido, as moléculas ficam mais soltas, assim... As forças intermoleculares são mais fracas, e quando você passa para o vapor, as forças intermoleculares já não existem mais.

Na explicação acerca do ponto de fusão, o aluno cita, novamente, as forças intermoleculares, porém se perde no que se refere a alguns termos científicos, além de não ressaltar informações quanto a, naquele momento, estar representando uma mistura.

Aluno ER: Quando a gente pega no estado sólido, as forças intermoleculares são mais apropriadas, ajeitadas, organizadas, como você ‘tá vendo aqui (mostra a imagem)

Percebemos que ele sabe das forças intermoleculares, mas utiliza de forma confusa, termos que, provavelmente, deve ter ouvido em suas aulas em relação à forma organizacional das moléculas nos diferentes estados físicos.

A linguagem científica é uma preocupação no ensino de Ciências, já que percebemos que os termos até existem na linguagem dos estudantes, porém eles não necessariamente sabem o significado da palavra no contexto da Química. O conhecimento científico está relacionado à linguagem científica, sendo assim dominá-la, tanto na forma oral quanto na forma escrita, é uma competência essencial para a prática científica e o seu aprendizado (Villani e Nascimento, 2003).

Na animação produzida por este grupo, a imagem sub-microscópica não apresentou uma melhora acentuada, porém, a partir dos argumentos expostos na entrevista, percebemos a evolução conceitual do grupo.

Aluno PR: Nós escolhemos demonstrar algo geral, porque normalmente falamos da água, mas toda substância tem, no estado sólido, líquido e gasoso, mas normalmente a gente as encontra no estado sólido.

A princípio, o grupo diz que demonstrou a mudança de estado de “algo geral”, porém, em

seguida, específica que é sobre substância. Então, aqui percebe-se que, para eles, ainda continua a ideia de que substância e mistura apresentam o mesmo comportamento durante a mudança de estado físico, portanto também não farão diferença na perspectiva do domínio sub-micro.

Aluno PR: Se começar a colocar temperatura... esquentando, a força intermolecular dela vai diminuindo, isso vai fazendo com que ela mude de estado físico, se você perceber, elas vão se espalhando e quando chega no líquido elas ficam menos organizadas.

Nesse discurso, já não ocorrem confusões em relação às forças intermoleculares e à organização molecular, como na primeira entrevista. Também houve alguma referência à quantidade de energia envolvida no processo, relacionando-a à força intermolecular (embora com alguma incorreção conceitual: as forças não diminuem, sua efetividade sim), caso não citado anteriormente. Então, pode-se depreender que este discurso apresenta uma linguagem mais robusta e coesa, expondo melhor a forma de pensar do estudante, mostrando que a linguagem científica possui uma estrutura particular e características específicas, indissociáveis do próprio conhecimento científico, estruturando e dando mobilidade ao próprio pensamento científico (Villani e Nascimento, 2003)

No grupo 2, também houve a inserção de imagens macroscópicas e sub-microscópicas.

Imagem – grupo 2	Comentário
	Foi usada a representação de bolas, sendo que no estado sólido/líquido indica o distanciamento das moléculas, porém não elucida que as moléculas de água no estado sólido encontram-se dispostas simetricamente numa estrutura em que as pontes de hidrogênio formam um retículo cristalino. O átomo de oxigênio de cada molécula de água está rodeado de átomos de hidrogênio de outras moléculas numa disposição tetraédrica.

Figura 4 – Representação água/água do mar

Nenhum grupo dessa pesquisa, em suas representações na cartolina, considerou a formação do retículo cristalino entre as moléculas de água no estado sólido, o que é até esperado, já que, na própria apostila utilizada no colégio, existem muitas imagens que somente ressaltam o distanciamento das partículas nos diferentes estados físicos da matéria, não esclarecendo o comportamento distinto da água, por exemplo, cuja densidade no estado sólido é menor do que no estado líquido (o gelo flutua na água líquida).

Na entrevista, o aluno informa que há um desprendimento das moléculas no processo de fusão, o que nos leva a crer que ele entende que há interações moleculares fortes, mas, em seu discurso, não cita quaisquer dos aspectos relativos a forças intermoleculares ou à formação de um retículo, embora utilize o termo correto em relação à substância representada, no caso: a molécula.

Aluno JR: Aqui está no estado físico sólido, mas, com o aumento da temperatura, as moléculas se soltam um pouco uma das outras, assim transformando no estado líquido.

Fato interessante encontrado nessa entrevista é que, quando indagados para explicar o processo de ebulição, eles dizem que se basearam no ciclo da água, conteúdo muito abordado no Ensino Fundamental, mostrando que, para eles, a imagem do ciclo da água faz todo sentido no que diz respeito à mudança de estado físico da água. Isso reforça a ideia de que modelos são formulados a partir da vivência de cada um, ou seja, são formados a partir das ideias construídas ao longo da vida social das pessoas (Borges, 1997).

Aluno JR: Aqui a gente se baseou no desenho do ciclo da chuva, que tem a evaporação dos rios. Aqui, é a água do mar (mostra na imagem), que é uma mistura, contendo várias substâncias e que tem as moléculas um pouco mais separadas.

É importante destacar que, no discurso, é percebido o uso correto em relação aos termos mistura e substância, e que, quando informam a mistura, no domínio sub-micro, indicam as diversas substâncias presentes no mar, também com modelos de bolas, porém com cores distintas em relação à água, assim, as diferenciando.

Prof<sup>a</sup>: E o que seriam essas bolas de cores diferentes?

Aluno JR: São os átomos... Como posso falar... As substâncias, porque como é uma mistura, existem vários tipos de substâncias.

Aqui, novamente, o aluno utiliza os termos científicos corretos, inclusive ele se autocorrigiu em seu discurso, quando cita átomos e, em seguida, diz substâncias, adequadamente. No entanto, há a dúvida sobre se ele realmente sabe a distinção dos termos, ou seja, ele realmente se apropriou desses termos científicos, ou repassa um discurso ouvido? Vemos, aqui, um importante caminho para pesquisa, porém não entraremos nesse contexto, por não ser nosso objetivo neste momento.

Na animação, vimos uma evolução nas representações sub-microscópicas, já que, agora, o grupo informa a formação do retículo cristalino da água no estado sólido, referindo-se à formação da ligação de hidrogênio, pois, na imagem, há a ligação entre o hidrogênio de uma molécula (pólo positivo) com o oxigênio de outra (pólo negativo) formando uma estrutura rígida de forma hexagonal, fato que não ocorreu nas imagens da cartolina. Durante a entrevista, foi confirmado esse entendimento, porém o aluno indica que a carga do Oxigênio é negativa, sendo um ânion e o Hidrogênio com carga positiva, sendo um cátion, embora se saiba que essas cargas parciais são provenientes da diferença de eletronegatividade entre os átomos envolvidos na ligação, formando-se moléculas dipolares, não envolvendo formação de íons.

Prof<sup>a</sup>: A posição dessas moléculas tem algum motivo? Ou é aleatória?

Aluno ML: Sim, como a carga do Oxigênio é negativa, o ânion, o Hidrogênio tem uma carga positiva que é o cátion, o cátion e o ânion vão estar se atraindo e, logo, o Hidrogênio vai estar do lado do Oxigênio, que é carga negativa, isso ocorre numa ligação de ponte de hidrogênio.

Gentner e Stevens (1983) destaca que os modelos mentais geralmente não são precisos, mas o objetivo do uso da modelagem é capturar o conhecimento do estudante, incluindo, principalmente, as crenças incorretas para, a partir dessas informações sobre o modelo expresso, revelarem erros nos processos de aprendizagem, além de criarem formas ou materiais que minimizem esses erros.

É importante ressaltar que o grupo agora, diferentemente da entrevista sobre o desenho em cartolina, cita a quantidade de energia envolvida no processo e que esta, por sua vez, está relacionada às forças intermoleculares e à mudança de estado.

Aluno JR: As moléculas se movimentam (falando no estado sólido), mas elas não se “desgrudam”, porque há uma força intermolecular forte.

Aluno JR: Elas recebem uma energia, tornando a força intermolecular mais fraca, se desestruturando e mudando de estado físico do sólido para o líquido.

Percebemos que não só esse grupo, mas todos os estudantes falam sobre forças intermoleculares nos diferentes estados físicos e indicam que elas são mais fortes no estado sólido e mais fracas no estado líquido. Embora a força seja a mesma, havendo diferença apenas no aumento da energia cinética das moléculas, que se sobrepõe às forças intermoleculares permitindo maior liberdade de movimento às partículas, essa concepção alternativa dos estudantes é muito comum, pois, frequentemente, quando esse conteúdo é abordado, o professor o expõe dessa mesma forma.

## CONCLUSÃO

No desenvolvimento dessa pesquisa, vimos a importância de transitar entre os diferentes níveis de representação, macroscópico, simbólico e sub-microscópico (Johnstone, 2000), porém percebemos o quão difícil é para os estudantes expressarem (representações externas; modelos expressos) seus modelos (representações internas; modelos mentais). Concluimos que isso se deve à pouca utilização e valorização do uso de modelos sub-microscópicos no ensino, pois percebemos que, para esses alunos da pesquisa, foi uma grande novidade trabalharem segundo essa perspectiva, ou seja, com modelagem.

Percebemos que as representações expressas no domínio sub-micro, a princípio, eram mais simples e apresentavam alguns erros conceituais e, após discussões para a socialização desses modelos através de desenhos na cartolina, houve uma melhora significativa nas representações sub-microscópicas expressas através da construção da animação. De fato, além de 64% dos modelos consensuais apresentarem características mais consistentes cientificamente, o discurso dos estudantes tornou-se mais coerente e seguro, o que nos mostra a viabilidade dessa estratégia de ensino.

Concluimos que esse tipo de abordagem, a multimodal, é importante, pois, com o uso de diversas formas de apresentação, através de diferentes ferramentas, conseguimos como que eles fossem, conforme proposto por Moreno e Mayer (2007), participantes ativos e críticos, fazendo parte da construção do seu conhecimento, ao invés de serem simples ouvintes que absorvem informações.

Por fim, recomendamos o uso mais assíduo da construção de modelos pelos estudantes, pois isso faz com que eles selecionem e organizem suas informações, desenvolvendo melhor suas concepções científicas acerca do assunto estudado. Vemos, também, a relevância de pesquisas sobre a dificuldade que os estudantes do Ensino Médio quanto à exposição das representações sub-microscópicas dos fenômenos, pois há um bloqueio nesse processo, ou seja, por que é tão difícil para alguns alunos construir uma imagem no domínio sub-micro? É um problema subjetivo ou está afeto ao próprio contexto social? Portanto, ressalta-se, aqui, que ainda existe muito campo a ser pesquisado com relação à construção de modelos e, principalmente, sobre o que dificulta os estudantes a o exporem no ensino de Ciências, em particular no ensino de Química. Esses

questionamentos apontam para a grande viabilidade e necessidade de pesquisas futuras para maiores esclarecimentos desse assunto.

### **Agradecimentos**

Aos alunos e alunas participantes dessa pesquisa e à CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Borges, A. T. (1997). Modelos Mentais. *Atas do XII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Belo Horizonte, *Sociedade Brasileira de Física*: p. 71-89

Ferreira, P.; Justi, R. (2008). Modelagem e o “Fazer Ciência”. *Química Nova na Escola*, v. 28: p. 32-36.

Gentner, D.; Stevens, A. L. (1983). *Mental Models*. Lawrence Erlbaum Associates Inc: Psychology Press.

Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education, *International Journal of science and mathematics Education*, v. 2: p. 115-130.

Greca, I. M.; Moreira, M. A. (1996). Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 1 (n.1) : p. 96-108.

Johnson-Laird, P. (1983). *The History of Mental Models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Johnstone, A. H. (2000). Chemical education research: where from here? *University Chemistry Education*, v. 4 (n. 1), p. 34-38.

Kozma, R. B.; Russell, J. (1997). Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research In Science Teaching*, v. 34, p. 949-968.

Mayer, R. (2003). The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, Pergamon, v.13, p.125–139.

Moreno, R.; Mayer, R. (2007). Interactive Multimodal Learning Environments. *Educational Psychology Review*, v. 19 (n. 3), p. 309-326.

Norman, D.A. (1983) Some observations on mental models. In: Gentner, D; Stevens, A.L. (Ed) *Mental Models*. Hillsdale, N J: Lawrence Erlbaum Associates, p. 6-14.

Villani, C. E. P.; Nascimento, S. S. (2003). A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 8, (n. 3), p. 187-209.