

VISUALIZAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA: APONTAMENTOS PARA A PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS EDUCACIONAIS

Leila Cardoso Teruya e Guilherme Andrade Marson*

Departamento de Química Fundamental, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lineu Prestes, 748, 05508-000 São Paulo - SP, Brasil

Celeste Rodrigues Ferreira e Agnaldo Arroio

Departamento de Metodologia do Ensino e Educação Comparada, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, Av. da Universidade, 308, 05508-040 São Paulo - SP, Brasil

Recebido em 11/4/12; aceito em 12/11/12; publicado na web em 18/2/13

VISUALIZATION IN CHEMISTRY EDUCATION: DIRECTIONS FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL RESOURCES. Visualization is a fast-growing field in science education. This review covers 171 articles published between 2001 and 2010 in 14 science education journals. Major findings include: i - despite the predominance of English speaking countries, interest in the topic has increased in several countries; ii - qualitative research is increasing, but quantitative methodologies prevail; iii - the role of peer interaction in group activities is little investigated; iv - research on the way students and teachers use visualization tools is increasing, but most publications focus on the tools; v - structure of matter remains the most common subject covered.

Keywords: visualization; chemical education; educational research.

INTRODUÇÃO

Dentre os diversos temas contemplados pela pesquisa em ensino de ciência e, especificamente, de química, a visualização tem sido objeto de estudo recorrente, uma vez que pesquisadores da educação e professores de química têm reconhecido a importância do assunto para o ensino dessa ciência.¹ Há, inclusive, edições especiais dedicadas ao tema, como a edição número 3 (*Visual and Spatial Modes in Science Learning*) do periódico *International Journal of Science Education*, publicada em 2009. No período entre 2001 a 2010, o crescente número de estudos dedicados ao tema tornou a pesquisa em visualização no ensino de química consideravelmente mais densa e diversa, ao que se associa formidável volume de informação.

Gobert² afirma que os três usos mais comuns do termo visualização na psicologia e na pesquisa educacional incluem três processos distintos, mas não exclusivos: visualização como representações externas, que se referem a formas de representação com finalidade didática, como gráficos, diagramas, modelos e simulações; visualização como representações internas, definidas como construtos mentais internos ou modelos mentais; e visualização como habilidade espacial, que compreende a habilidade visuoespacial de lidar com informações desse gênero.

Ainda, de acordo com Gilbert, Reiner e Nakhleh,³ encontramos na literatura dois significados diferentes para o uso do termo visualização:

- 1º significado: o termo visualização é usado como “verbo”, visualizar algo, atuar mentalmente sobre uma representação visual, ou seja, atribuir significado. Nestes trabalhos, discutem-se questões relacionadas com a forma como as representações visuais (internas e externas) transformam-se em conhecimento, quais serão os processos mentais envolvidos na atribuição de significado a uma representação visual.⁴
- 2º significado: o termo visualização é usado como “nome”, algo que foi colocado à disposição de um público, na forma de um objeto material ou virtual. Os estudos que adotam essa convenção analisam

o impacto das representações virtuais, ou o uso combinado de vários tipos de ferramentas visuais na aprendizagem.⁵

Para Gilbert *et al.*,⁶ a visualização está relacionada à formação de uma representação interna a partir de uma representação externa, de tal modo que a essência e as relações temporais e espaciais características da representação externa são retidas. Os autores também defendem que a visualização é fundamental para o ensino de química, considerando a necessidade de se aprender os modelos científicos já estabelecidos e aprender a desenvolver novos modelos de natureza tanto quantitativa quanto qualitativa. Ainda sobre modelos científicos, Justi e Gilbert⁷ lembram que a educação em química requer o aprendizado de modelos, isto é, a formação de representações mentais apropriadas, sem as quais os estudantes podem ter dificuldades de aprendizado.

Estas, segundo Chittleborough e Treagust,⁸ podem ser atribuídas à natureza dual da química, que apresenta tanto as características reais e visíveis do nível macroscópico quanto as reais, mas não tão visíveis, do nível submicroscópico. De acordo com os autores, seria exatamente essa impossibilidade de enxergá-lo, refletida em modelos mentais pobres envolvendo a estrutura da matéria, que tornaria o nível submicroscópico de difícil compreensão para os estudantes.

Considerando que as representações visuais fornecem um meio de tornar visíveis os fenômenos que não podem ser captados por nossa visão⁹ e que a efetividade no ensino de química depende tanto da habilidade do professor em explicar conceitos abstratos e complexos quanto da habilidade dos estudantes em compreender tais explicações,¹⁰ as representações visuais têm sido empregadas para auxiliar os estudantes a aprenderem conceitos químicos pela construção de seus próprios modelos mentais.^{1,8} Apesar disso, alguns autores ressaltam que o ensino de química e a pesquisa educacional historicamente enfatizaram o aprendizado e a informação verbal, deixando as representações visuais em segundo plano, como se o uso de imagens implicasse a aprendizagem tácita dos conceitos.^{9,11}

A relação entre visualização e o ensino de química foi apontada no estudo de Wu e Shah.¹ Os autores realizaram uma revisão bibliográfica com foco em três aspectos: correlação entre habilidades espaciais e aprendizado de química; erros conceituais e dificuldade

*e-mail: gamarson@iq.usp.br

de se entender representações visuais; e ferramentas de visualização desenvolvidas para superação dessas limitações. Os resultados da pesquisa mostraram uma correlação positiva entre êxito no aprendizado de química e melhores habilidades visuoespaciais, além do fato de que muitos dos erros conceituais apresentados pelos estudantes são decorrentes da falta de entendimento adequado das representações visuais. Entretanto, tais representações invariavelmente acabam se restringindo a determinados aspectos dos conceitos e princípios estudados,¹¹ o que exige dos estudantes habilidades visuoespaciais para visualizar aquilo que não está explícito na representação original. Essa dificuldade é bastante recorrente quando é cobrada dos estudantes, por exemplo, a visualização tridimensional de moléculas que estão representadas bidimensionalmente em livros didáticos.¹²

Em relação às habilidades de visualização, Costa et al.¹³ alertam para o fato de que os alunos apresentam níveis de literacia visual diferentes, de modo que podem interpretar aquilo que veem de diversas maneiras.

Schonborn e Anderson¹⁴ complementam que são poucas as instituições de ensino que explicitamente ensinam essas habilidades aos alunos, uma vez que é comum a suposição errônea de que as mesmas, assim como outras habilidades cognitivas, podem ser adquiridas automaticamente, pela simples realização de algumas atividades que exigem visualização ou pelo uso de ferramentas de visualização. Esta situação deve-se muito provavelmente à pouca importância dada, ainda, ao uso destas ferramentas nos cursos de formação inicial, tal como constataram Ferreira e Arroio,¹⁵ e, por conseguinte, a uma formação superficial e pouco sólida nesta área.

Apesar da elevada importância que vários autores atribuem ao uso de visualizações, no sentido de estas auxiliarem os alunos a construir os seus próprios modelos mentais, Kozma e Russell¹⁶ atribuem às representações visuais um papel importante dentro da perspectiva da Teoria Situativa.¹⁷ De acordo com estes autores, é através destas representações que os químicos conseguem visualizar, discutir e compreender objetos e processos que não estão presentes ou não são visíveis numa dada situação. Na sala de aula, a presença destes recursos permitiria aos alunos interagirem entre si à medida que se engajam nas atividades propostas pelo professor, criando, segundo essa teoria, uma comunidade de práticas. Sendo assim, as representações visuais seriam úteis para construir e comunicar conhecimento, e serviriam para encorajar os alunos a formularem e avaliarem hipóteses, construir argumentos e conclusões.

Marson e Torres¹⁸ lembram ainda que o uso de recursos de visualização pode contribuir para o melhor entendimento, entre os estudantes, dos diferentes níveis de representação da química e como os mesmos se integram.

Em vista da importância da visualização no ensino de química e da crescente produção acadêmica na área observada na década de 2001 a 2010, o presente estudo teve como objetivo atender à necessidade de se identificar tendências, sistematizar conceitos e propor direções investigativas para a pesquisa em visualização no ensino de química.¹⁹ Para tanto, neste trabalho é apresentado o produto da análise de estudos publicados em periódicos relevantes da área de ensino de ciências.

Megid Neto e Pacheco²⁰ e Haddad²¹ caracterizam esse tipo de pesquisa como um campo de estudo que analisa, num recorte temporal definido, as características da evolução histórica, tendências temáticas, metodológicas, os principais resultados das investigações, problemas e limitações que devem ser objeto de análise em relação às produções acadêmicas em uma determinada área de pesquisa.

Na área do ensino de química, Schnetzler²² realizou uma revisão abrangendo o período de 1977 a 2001. A autora traçou um panorama da pesquisa em ensino de química no Brasil a partir do levantamento e análise de artigos publicados em *Química Nova* e *Química Nova*

na *Escola*, resumos de teses e dissertações sobre o assunto, além de resumos publicados nas Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Seguindo linha de pesquisa semelhante, Francisco e Queiroz²³ concentraram sua revisão em resumos na área de ensino apresentados nas Reuniões Anuais da SBQ entre 1999 e 2006.

METODOLOGIA DE PESQUISA

Foram selecionados e analisados 171 artigos publicados entre 2001 e 2010.

Seleção de artigos para o estudo

Os artigos foram selecionados individualmente em três etapas:

- 1) seleção por periódico - os seguintes periódicos foram escolhidos, dada sua ampla circulação e reconhecida qualidade na área da pesquisa educacional: *Journal of Chemical Education* (J. Chem. Educ.), *Biochemistry and Molecular Biology Education* (BAMBED), *Research in Science Education* (Res. Sci. Educ.), *Science & Education* (Sci. Edu.), *Chemical Education Research and Practice* (Chem. Educ. Res. Pract.), *Computers & Education* (Comput. Educ.), *Journal of Research in Science Teaching* (J. Res. Sci. Teach.), *International Journal of Science Education* (Int. J. Sci. Educ.), *Problems of Education in 21st century* (PEC), *Revista Electronica de Enseñanza de las Ciencias* (REEC), *Journal of Science Education and Technology* (J. Sci. Educ. Technol.), *Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências* (RBPEC), *Química Nova* (Quim. Nova), *Química Nova na Escola* (QNEESC);
- 2) seleção por análise dos títulos e palavras-chave - número a número, os periódicos indicados na 1ª etapa foram consultados, identificando-se artigos cujos títulos sugerissem conteúdos relevantes para este estudo. Adicionalmente, empregou-se a busca por termos tais quais 'visualização', 'habilidades visuoespaciais' e 'literacia visual' (e os correspondentes em língua inglesa) no descritor de palavras-chave dos artigos;
- 3) seleção por resumos - os resumos dos artigos cujos títulos ou palavras-chave foram considerados de interesse foram então analisados a fim de se confirmar se tais trabalhos de fato se relacionavam ao tema desta pesquisa. Em caso positivo, o artigo em si foi analisado e, confirmado seu enquadramento no escopo deste estudo, classificado em descritores.

Tal procedimento baseia-se nas premissas de que, conforme indica Severino (p. 62):²⁴ os títulos "devem dar a ideia a mais exata possível do conteúdo do setor que intitulam"; e que os resumos, em princípio, facilitam a divulgação dos trabalhos produzidos na esfera acadêmica com mais abrangência.²⁵

Classificação dos artigos selecionados

Os artigos assim selecionados foram classificados de acordo com os seguintes descritores:

1. país de origem do autor principal - refere-se ao país da instituição de filiação do primeiro autor e não, necessariamente, à nacionalidade do mesmo;
2. tipo de artigo - inclui as categorias 'investigação' (identificam-se uma pergunta e a condução da pesquisa para abordá-la), 'metodologia de ensino' (proposição de alternativas metodológicas com foco na visualização), 'recurso didático' (relatos de novos recursos didáticos, sem indicação de avaliação ou vinculação à investigação) e 'revisão';
3. conceitos químicos - para maior facilidade do tratamento e interpretação dos dados, os inúmeros conceitos citados foram reunidos em 7 grupos mais frequentes: 'estrutura da matéria'

(ex.: ligação química, estrutura atômica, natureza particulada da matéria), 'propriedades moleculares' (ex.: interações intermoleculares, simetria, isomeria), 'bioquímica' (ex.: proteínas, ácidos nucleicos, transporte celular), 'físico-química' (ex.: equilíbrio químico, cinética, eletroquímica), 'química geral' (ex.: estequiometria, reações, substâncias simples e compostas), 'técnicas de laboratório' (ex.: cromatografia, titulação, separação de misturas) e 'outros' (conceitos de menor ocorrência);

- metodologia usada no contexto educacional - corresponde ao método de trabalho utilizado, no que diz respeito às estratégias de ensino empregadas. Inclui as categorias 'trabalho em grupo', 'trabalho individual', 'aula expositiva', 'laboratório', 'grupo de discussão', 'outros' (metodologias diferentes das citadas) e 'não explicitado' (metodologia não explicitada);
- metodologia de pesquisa educacional - refere-se ao método de pesquisa selecionado para atender aos objetivos da pesquisa. Abrange as categorias 'análise comparativa de pré e pós-testes', 'questionário para coleta de dados analisados de forma quantitativa', 'questionário para coleta de dados analisados de forma qualitativa', 'avaliação tipo *likert*', 'análise de desenho', 'gravação em vídeo ou áudio', 'entrevistas livres, estruturadas ou semiestruturadas', 'outros' (metodologias diferentes das citadas) e 'não explicitado' (metodologia não explicitada);
- meio suporte didático - relacionado ao tipo de recurso didático utilizado no trabalho, contemplando as categorias 'interativo' (programa computacional que oferece ao usuário algum grau de interatividade), 'modelo molecular físico' (de qualquer material), 'animação' (vídeo com animação, sem interatividade, com possibilidades mínimas de controle, como tocar, pausar etc.), 'ilustrativo papel' (ilustrações presentes em livro e qualquer outro material impresso), 'ilustrativo eletrônico' (ilustrações apresentadas em mídia eletrônica) e 'outros' (outros meios suporte diferentes dos citados).

Os descritores 'conceitos químicos', 'metodologia usada no contexto educacional', 'metodologia de pesquisa educacional' e 'meio suporte didático' admitiam classificação em mais de uma categoria (i.e. duas ou mais metodologias de pesquisa, estudo com dois ou mais tipos de suporte didático). Nesses casos, o número total de categorias no descritor pode ser maior que o número total de artigos analisados.

Os dados obtidos foram compilados em uma planilha eletrônica e analisados em termos da frequência de ocorrência das categorias nos diversos descritores (material suplementar).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção por periódico

O primeiro critério de classificação analisado foi a produção bibliográfica por periódico. Dentre as revistas pesquisadas, o *J. Chem. Educ.* é o periódico com mais publicações na área de visualização (77), seguido, na maior parte dos anos, pela *BAMBED* (21), *J. Sci. Educ. Tech.* (12) e *Chem. Edu. Res. Pract.* (11). Cada um dos demais periódicos é responsável por menos de 5% do total de artigos analisados. O periódico *Sci. Educ.* apresenta 6 trabalhos. Com igual número de publicações, aparecem as revistas *Comput. Educ.* e *PEC* (8), *J. Res. Sci. Teach.* e *Int. J. Sci. Educ.* (7), *Res. Sci. Educ.*, *REEC* e *Quim. Nova* (4), *RBPEC* e *Qnesc* (1). A partir desses dados, verifica-se que, considerando os periódicos nacionais, há um total de 6 publicações sobre o tema visualização.

Os quatro periódicos com maior número de publicações sobre visualização também apresentam os maiores números de publicações gerais, dentre os periódicos pesquisados. Um ponto interessante a discutir é o destaque da *BAMBED*, uma revista voltada para a área

de educação em bioquímica e biologia molecular, entre os periódicos com mais artigos sobre o tema.

Como ressaltam Schonborn e Anderson,¹⁴ é consenso entre bioquímicos a relevância da visualização e das ferramentas de visualização para o entendimento de biociências tanto em nível celular quanto molecular. Apesar dos diferentes tamanhos, esses níveis estão presentes na proposta de Talanquer,²⁶ que amplia a ideia de que o conhecimento químico pode ser expresso em três componentes: macroscópico, microscópico e simbólico.²⁷ Para Talanquer, o conhecimento químico pode ser de três tipos diferentes: experiência (empírico), modelo (explicativo) e visualização (signos visuais). Ele pode estar compreendido ainda em escalas de tamanho variadas, estando os níveis subatômico e macroscópico em seus extremos. Completando a proposta, o conhecimento químico também poderia ter diferentes dimensões (estrutura/composição, energia e tempo) e ser abordado de formas distintas (matemática, conceitual, contextual e histórica).

Acerca das revistas brasileiras, vale destacar o discreto aumento das publicações sobre visualização nas mesmas, em consonância com o crescente número de resumos na área de pesquisa em ensino de química publicados nas Reuniões Anuais da SBQ ao longo dos anos.^{22,23}

Produção por país

A produção bibliográfica por país da instituição de filiação do primeiro autor a cada ano pode se visualizada na Figura 1.

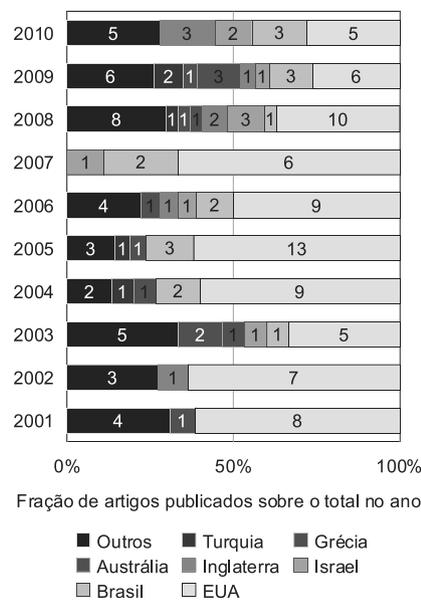


Figura 1. Produção anual por país de origem da instituição de filiação do primeiro autor. Os dados em barras exprimem para cada ano a produção em termos do % do total de artigos publicados no ano. Os números nas barras indicam os valores absolutos. Foram considerados os 8 países de produção mais expressiva. A categoria outros inclui os países Canadá, Taiwan, México, Portugal, África do Sul, Espanha e Suíça

Os resultados revelam que os Estados Unidos são o país com maior número de publicações na área de visualização (78), sendo Brasil (17), Israel (9), Reino Unido (8) e Austrália (7) os próximos países que mais contribuem com publicações. Sobre a posição de destaque do Brasil neste levantamento, ressalta-se que a maior parte dos trabalhos (12) não foi publicada em periódicos nacionais, mas sim nos estrangeiros. Salienta-se ainda nestes resultados que, dentre esses cinco países, três têm o inglês como idioma oficial, que é a língua em que se publicam os artigos nos principais periódicos

internacionais. Este deve ser um fator facilitador para a publicação de artigos para estes países, como hipotetizam Lee *et al.*²⁸ Segundo os autores, os quatro países que mais publicaram entre 2003 e 2007, considerando três diferentes jornais da área de ensino, foram Estados Unidos, Austrália, Reino Unido e Canadá, todos falantes do inglês. Por outro lado, na mesma revisão, foi mostrado que os países em que o inglês não é o idioma oficial têm aumentado suas contribuições na literatura de pesquisa em ensino de ciências. Resultado semelhante foi encontrado no presente estudo, uma vez que a diversidade de países com publicações na área de visualização aumentou nos últimos anos.

Produção por tipo de artigo

De acordo com a Figura 2, que aponta a produção por tipo de artigo a cada ano, os artigos do tipo recurso didático, que tratam do desenvolvimento e avaliação de recursos didáticos, representam a maior parte dos artigos publicados em quase todo o período, sendo verificado ligeiro declínio nos últimos anos, com aumento também pequeno da participação de artigos do tipo metodologia de ensino, em que aspectos metodológicos do ensino constituem o foco principal da pesquisa.

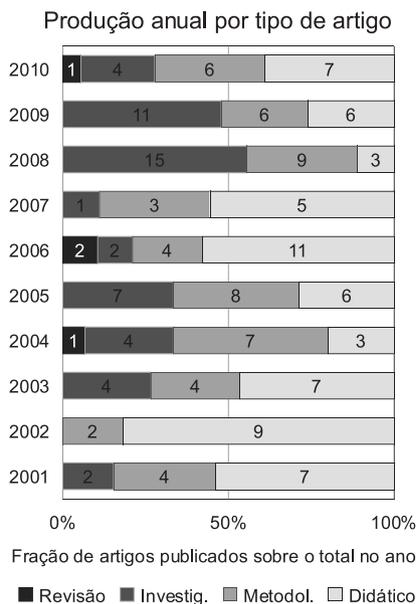


Figura 2. Produção anual por tipo de artigo. Os dados em barras exprimem para cada ano a produção em termos do % do total de artigos publicados no ano. Os números nas barras indicam os valores absolutos. Foram considerados os 4 tipos de artigos: i – Revisão: artigos de revisão; ii – Investig.: artigos de investigação; iii – Metodol.: artigos de metodologia de ensino; iv – Didático: artigos sobre recursos didáticos

Os dados obtidos indicam que os trabalhos de inovações didáticas e metodológicas, portanto, constituíram a maior parcela dos artigos publicados em todos os anos.

Os números encontrados são condizentes, em âmbito nacional, com os apresentados por Francisco e Queiroz.²³ Segundo levantamento realizado pelas autoras, os trabalhos classificados como de recursos didático e de conteúdo-método foram, em 1º e 2º lugares, respectivamente, os mais apresentados nas RASBQ no período de 1999 a 2006. Dessa forma, é plausível que os artigos sobre visualização sigam tendência semelhante, com destaque, no caso, para as ferramentas de visualização.

Wu e Shah¹ destacam que o grande interesse das pesquisas envolvendo recursos de visualização, que vão desde os modelos físicos até

os programas de computador, deve ser atribuído à importância que o raciocínio visuoespacial tem para a química. O uso de visualizações no ensino está imerso em várias correntes teóricas que vão desde as teorias socioculturais até as correntes de base mais internalista, apoiadas pelo forte desenvolvimento da psicologia cognitiva.

De acordo com a Teoria Sociocultural de Vygotsky,²⁹ as visualizações podem ser consideradas ferramentas de mediação semiótica, em que sistemas de signos são constantemente utilizados para mediar processos sociais (comunicar, construir conhecimento) e o pensamento. Em uma das suas palestras proferidas em 1930, dá exemplos de algumas destas ferramentas: *a linguagem; vários sistemas para contar; técnicas mnemônicas; sistema de símbolos e algébricos; trabalhos sobre arte; escritos; esquemas; diagramas; mapas e desenhos mecânicos; todo tipo de signos convencionais etc.*³⁰ Esta perspectiva sociocultural propõe-nos que o processo de significação, em sala de aula, seja concebido por uma prática social mediada pelo signo (por exemplo, visualização) e pelo outro (colegas e professores).³¹

Dentro da corrente da psicologia cognitiva, destacam-se a Teoria da Codificação Dual de Allan Paivio,³² a Teoria da Carga Cognitiva de John Sweller³³ e a Teoria de Aprendizagem por Multimídia de Richard Mayer.³⁴ Durante os últimos anos, muitos dos softwares e metodologias propostas no campo do ensino de ciências através do uso de ferramentas visuais têm sido inspiradas nestas teorias e no conhecimento atual sobre a arquitetura cognitiva. De acordo com Reed,³⁵ a arquitetura cognitiva inclui a descrição dos tipos de memórias de armazenamento de informação (curto e longo prazo), códigos de memória (associações semânticas, imagens visuais etc.) e operações cognitivas.

Embora esta questão seja polêmica, dado que uma representação mental é inacessível aos outros, é também nesta área que encontramos subsídios para compreendermos como representamos internamente informação, ou seja, que tipo de representações internas construímos a partir das representações externas. De acordo com Johnson-Laird,³⁶ existem três tipos de representações mentais:

- representações proposicionais, que são cadeias de símbolos (representações de significados totalmente abstraídas) relacionados por uma determinada sintaxe, verbalmente expressáveis;
- modelos mentais, que são análogos estruturais de objetos ou eventos que são espacial e temporalmente análogos a impressões sensoriais, mas que podem ser vistos de qualquer ângulo - e aí nos vêm imagens - e que, em geral, não retêm aspectos distintivos de uma dada instância de um objecto ou evento;
- imagens, que são representações bastante específicas que retêm muitos aspectos perceptivos de determinados objetos ou situações vistas de um ângulo particular.³⁷

Dado que o conhecimento químico é inerentemente multimodal e as palavras sozinhas não conseguem expressar todo este conhecimento,³⁸ vários autores³⁹ sugerem que o uso de visualizações adequadas levará à construção de modelos mentais adequados e que, sem estes, a aprendizagem em química se torna muito difícil. No entanto, o enfoque destes trabalhos centra-se, por vezes, na relação entre o sujeito e a ferramenta (visualização), sendo as interações sociais omitidas ou relegadas para segundo plano.

Estes estudos têm causado impacto na comunidade de ensino de química, na qual a necessidade e a proliferação de ferramentas visuais associadas ao uso de tecnologias são muito grandes, como já referido. Professores e educadores, nos seus respectivos contextos, estabelecem uma série de objetivos de aprendizagem para os seus alunos, numa tentativa de serem bem sucedidos; estes professores e educadores recorrem então, cada vez mais, ao uso de ferramentas de visualização.

Apesar do grande número de artigos sobre recursos didáticos e metodologias, observou-se um pequeno aumento relativo dos trabalhos investigativos, sugerindo que mais questões relacionadas

à visualização em ensino de química têm surgido e despertado o interesse dos pesquisadores.

Dentre as questões levantadas pelos pesquisadores, pode ser citado o efeito da utilização de ferramentas de visualização no aprendizado. Diversos estudos comparam grupos de pesquisa que fizeram uso de determinado recurso de visualização e grupos de controle que tiveram aulas sem o recurso ou com pouca ênfase em visualização,⁴⁰ trazendo, em sua maioria, conclusões favoráveis ao uso das ferramentas de visualização. A comparação entre diferentes modalidades de suporte didático também é objetivo recorrente de muitos estudos,⁴¹ cujos resultados tendem a associar o melhor aprendizado dos alunos à utilização de ferramentas de visualização mais dinâmicas.

Outra questão relevante é a influência do conhecimento prévio do aluno no aproveitamento dos recursos de visualização. De acordo com Liu *et al.*,⁴² alunos com domínio conceitual prévio de níveis diferentes adotam estratégias distintas quando resolvem problemas que envolvem simulação computacional; além disso, o conhecimento prévio também influenciaria a interação entre os alunos ao resolver os problemas. Ainda sobre o assunto, o estudo de Cook *et al.*⁴³ indica que alunos com melhor entendimento prévio de um conceito dirigem sua atenção visual a aspectos mais relevantes de uma representação visual e têm mais facilidade em coordenar representações micro e macroscópicas para compreender um fenômeno. Cook,⁴⁴ por sua vez, afirma que o conhecimento prévio pode influenciar a forma como o aluno percebe e interpreta uma representação visual.

Produção por conceito químico

Na Figura 3, observa-se a produção por conceitos químicos a cada ano. Apesar da variação irregular ao longo dos anos, é possível notar que estrutura da matéria constitui a classe de conceito mais

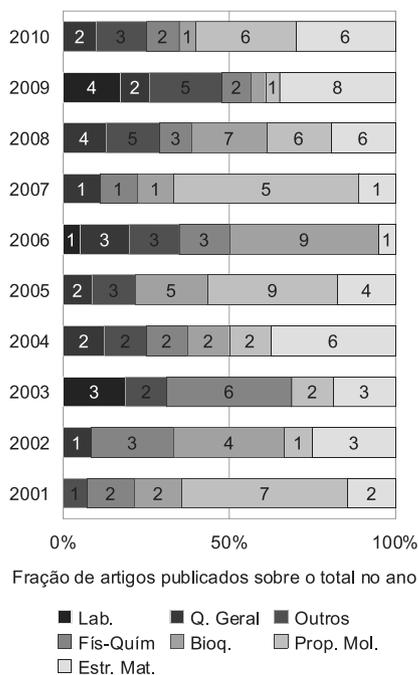


Figura 3. Classificação da produção anual por conceitos químicos tratados nos artigos. Os dados em barras exprimem para cada ano a produção em termos do % do total de artigos publicados no ano. Os números nas barras indicam os valores absolutos. Os conceitos químicos foram agrupados em grandes categorias: i – Lab.: técnicas de laboratório; ii – Q. Geral: química geral; iii – Outros: categorias de menor ocorrência; iv – Fis-Quím: físico-química; v – Bioq.: bioquímica; vi – Prop. Mol.: propriedades moleculares; vii – Estr. Mat.: estrutura da matéria

estudada na área de visualização, seguida de perto por propriedades moleculares.

Este grupo compreende conceitos que estão presentes na maioria dos currículos de todos os níveis de ensino (fundamental, médio e superior), como ligação química, estrutura molecular e natureza particulada da matéria.

A dificuldade de se compreender este último tópico, em particular, é atribuída não apenas à dimensão submicroscópica da matéria,⁴⁵ mas também ao fato de que, para os alunos, não é intuitiva a ideia de que a matéria é constituída por partículas.⁴⁶ Problemas de aprendizagem envolvendo esse conceito podem ser resultado de uma habilidade de visualização pobre,⁴⁷ gerando possíveis concepções alternativas sobre esse modelo de constituição da matéria.⁴⁸ Stern *et al.*⁴⁹ lembram, ainda, que a compreensão de muitos conceitos importantes da química esbarra na falta de entendimento da natureza particulada da matéria.

Outros tópicos relacionados à estrutura da matéria também são apontados como básicos para o aprendizado de outros conceitos. Deste modo, por exemplo, a habilidade de visualizar estruturas moleculares é considerada essencial para se entender conceitos mais avançados, como análise conformacional,⁵⁰ reatividade⁵¹ e simetria molecular.⁵²

Embora representem conceitos, *a priori*, mais elementares, dificuldades de ensino relacionadas à estrutura da matéria são verificadas em todos os níveis, o que pode explicar o maior interesse por estudos tratando de visualização para esses conceitos. Precisa-se destacar que, para esse grupo de conceitos, há um alto grau de abstração relacionado, tornando-se, por isso, um campo ideal para o uso e desenvolvimento de modelos e de ferramentas de visualização.

Destaca-se também que, apesar de ainda pouco utilizados, os recursos computacionais destinados ao aprendizado de técnicas de laboratório podem ser grandes aliados no ensino de química.⁵³ Tal afirmação decorre da importância que o laboratório tem para o ensino desta disciplina e, ao mesmo tempo, da dificuldade de se implantar laboratórios nas escolas.⁵⁴

Alguns autores destacam, por exemplo, os custos de manutenção de um laboratório⁵⁵ e o elevado número de alunos nas turmas⁵⁶ como fatores que estimulariam o uso de ferramentas computacionais, permitindo ao aluno simular diferentes técnicas e procedimentos, além de utilizar reagentes diversos, o que nem sempre seria possível de se fazer no ambiente real de um laboratório.

O uso de simulações também é reportado para situações de ensino à distância, com os objetivos de familiarizar os alunos de um curso de química à distância com o laboratório e prepará-los para as aulas práticas presenciais.⁵⁷ Como atividades pré-laboratório, as simulações também podem contribuir para preparar melhor os alunos para o trabalho prático, possibilitando o treinamento de técnicas e fornecendo o embasamento teórico associado ao experimento.⁵⁸ Com isso, as atividades de laboratório seriam muito mais significativas para os alunos.

Produção por metodologia usada no contexto educacional

A produção de artigos por metodologia aplicada a cada ano está representada na Figura 4.

Primeiramente, deve-se apontar para a discreta redução no número de publicações sem citações da metodologia de pesquisa aplicada ao longo dos anos. A escolha pelo trabalho em grupo é a mais comum, seguida pelo trabalho individual, metodologias que, em número, não variaram muito no período considerado.

É preciso ressaltar, porém, que o trabalho em grupo não necessariamente implica trabalho colaborativo, em que a discussão entre alunos e/ou com o professor aparece como estratégia de ensino e parte integrante da sequência didática adotada, podendo essa interação ser ou não objeto de investigação mais detalhada.

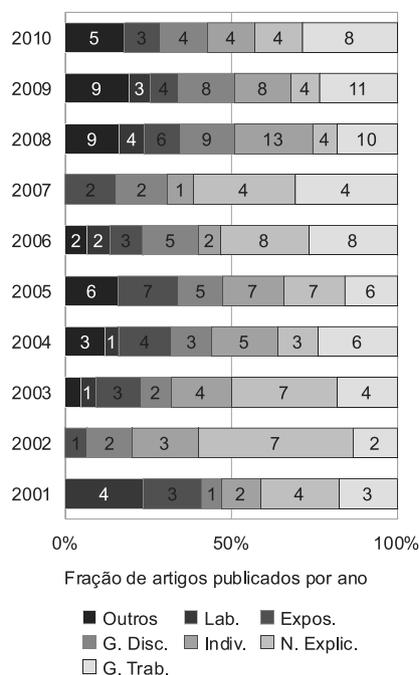


Figura 4. Classificação da produção anual de artigos por metodologia de ensino. Os dados em barras exprimem para cada ano a produção em termos do % do total de artigos publicados no ano. Os números nas barras indicam os valores absolutos. As metodologias de ensino indicadas nos artigos foram classificadas nas categorias: i – G. Trab.: trabalho em grupo; ii – N. Explic.: metodologia não explicitada; iii – Indiv.: trabalho individual; iv – G. Disc.: grupos de discussão; v – Expos.: aula expositiva; vi – Lab.: atividades em laboratório; vii – Outros

A realização do trabalho em grupo, em duplas, por exemplo, pode ser mais uma questão de organização da infraestrutura disponível do que metodológica, como em trabalhos realizados em laboratório.⁵⁹ Ou seja, é possível que a limitação de recursos ou espaço tenha sido o fator decisivo para que o trabalho fosse feito em grupo em alguns casos.

A respeito disso, é interessante citar o estudo de Ardac e Akaygun,⁶⁰ que comparou o uso de animações no ensino de transformações químicas e físicas entre alunos que fizeram uso individual de computadores e alunos que assistiram à animação demonstrada pelo professor em um computador único. De acordo com a pesquisa, a possibilidade de os próprios alunos explorarem a ferramenta de visualização, em vez de somente acompanharem o seu uso pelo professor, levou ao melhor entendimento dos conceitos abordados. Neste caso, portanto, havia condições para que parte dos alunos trabalhasse individualmente, o que pode não ter acontecido em outros trabalhos.

Deste modo, é mais compreensível também o fato de que os grupos de discussão sejam menos adotados do que o trabalho individual, apesar de o trabalho em grupo ser a opção mais comum de metodologia.

Dentre os trabalhos que avaliam a interatividade entre os alunos, cabe destacar a pesquisa de Liu *et al.*,⁴² segundo a qual o conhecimento prévio dos alunos influencia a interação entre os mesmos nas atividades em grupo. No estudo, em que foi proposta a resolução de um problema de eletroquímica utilizando simulação computacional, as duplas de alunos com menor conhecimento prévio sobre o assunto apresentaram interações menos significativas enquanto resolviam o problema do que as duplas com maior conhecimento prévio ou as duplas mistas, em que os integrantes possuíam níveis diferentes de conhecimento prévio.

Nota-se ainda uma prevalência de trabalhos com enfoque cognitivistas (centrados na interação aluno - recursos de visualização)

e menos situacionais (alunos - professor - recursos de visualização), o que evidencia uma necessidade de ampliação das pesquisas com enfoque situacional, considerando que as atividades de ensino ocorrem majoritariamente no plano social da sala de aula, muitas vezes por mediações entre os alunos, professores e ferramentas ou recursos.

Mais um dado interessante é o ligeiro aumento na diversificação das metodologias aplicadas, que pode estar relacionado a uma escolha dos pesquisadores de realizar um conjunto de diferentes atividades em suas pesquisas, uma vez que as metodologias aplicadas estão longe de serem mutuamente excludentes.

Produção por metodologia de pesquisa educacional

A Figura 5 mostra a evolução das publicações ao longo dos anos de acordo com a metodologia de pesquisa empregada.

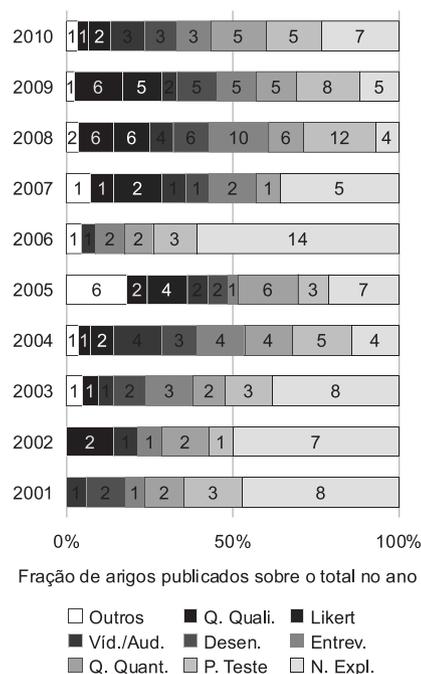


Figura 5. Classificação da produção anual de artigos por metodologia de pesquisa indicada. Os dados em barras exprimem para cada ano a produção em termos do % do total de artigos com viés investigativo publicados no ano. Os números nas barras indicam os valores absolutos. As metodologias indicadas nos artigos foram classificadas nas categorias: i – N. Expl.: metodologia não explicitada; ii – P. Teste: análise comparativa de pré e pós-testes; iii – Q. Quant.: questionários com análise quantitativa; iv – Entrev.: entrevista; v – Desen.: análise de desenhos; vi – Vid/Aud.: vídeo e áudio; vii – Likert: avaliação do tipo Likert; viii – Q. Quali.: questionários com análise qualitativa; ix – Outros

Observa-se claramente predomínio dos artigos sem citação explícita da metodologia de pesquisa empregada. Tais trabalhos apontam resultados obtidos com estudantes, mas não deixam claro qual o método de pesquisa empregado para a obtenção de tais dados, valendo-se em muitos casos do relato dos autores como validação dos resultados. Contudo, essa tendência tem diminuído com o tempo, o que indica um processo de amadurecimento dentre aqueles que se propõem a investigar minimamente o papel da visualização no aprendizado.

Entre aqueles que indicam explicitamente uma metodologia de pesquisa, é mais frequente a aplicação de metodologias de pesquisa quantitativas, abrangendo testes e questionários cuja avaliação é de caráter quantitativo e estatístico. Apesar disso, verifica-se uma tendência de redução no uso dessas metodologias, com aumento

das pesquisas com metodologias mais qualitativas, que utilizam, por exemplo, entrevistas, desenhos e gravações em vídeo ou áudio. Nota-se que, embora ainda predominem as pesquisas que abordam os impactos do uso de recursos de visualização, como softwares, por exemplo, começa a aumentar o número de trabalhos que privilegiam os processos pelos quais os alunos aprendem em situações apoiadas por ferramentas de visualização.

Tais resultados concordam com os de outras pesquisas, que mostram o aumento das metodologias qualitativas comparado às quantitativas.^{28,61} Em alguns casos, as gravações em vídeo ou áudio têm como propósito apenas registrar a sequência didática aplicada, sem uma finalidade clara de avaliar processos interacionais.⁶² Porém, em outros, as mesmas têm como objetivo registrar as interações dos alunos com o professor e/ou entre seus pares e/ou com a ferramenta de visualização utilizada, para uma análise posterior do processo de aprendizagem.⁶³ Segundo Schnetzler,²² no final dos anos 70, houve uma mudança de foco nas pesquisas educacionais, dando-se mais atenção aos processos de aprendizagem do que de ensino, o que contribuiu para uma alteração também no tipo de metodologia de pesquisa aplicada, de mais quantitativa para mais qualitativa.

Também se deve atentar para a possibilidade de metodologias mistas, em que mais de um instrumento metodológico é utilizado, de forma complementar. Dos trabalhos analisados, por exemplo, muitos fizeram uso de mais do que três metodologias de pesquisa diferentes.⁶⁴ Segundo Prain *et al.*,⁶⁵ que fizeram uso de entrevistas, desenhos e questionários em um estudo abordando a natureza particulada da matéria, o emprego de metodologias de pesquisa diferentes permite aos alunos expressarem melhor o que sabem, uma vez que podem apresentar performances distintas ao expressar o seu conhecimento, dependendo da maneira como se dá essa expressão, seja por representações verbais, gestuais, escritas ou pictóricas.

Além disso, a opção por metodologias de pesquisa variadas permite ao professor investigar e questionar inconsistências e contradições nas formas de representação utilizadas pelos alunos.⁶⁶ Kelly e Jones,⁶⁷ por exemplo, avaliaram o efeito do uso de uma animação no aprendizado do processo de dissolução por alunos de um curso de química. As autoras notaram que a qualidade de seus desenhos melhorou após os alunos assistirem à animação. Entretanto, verificou-se que muitos alunos cujos desenhos foram avaliados como bons pelas pesquisadoras apresentaram erros conceituais nas entrevistas, sugerindo que seus desenhos apenas refletiam o que havia sido observado na animação.

Produção por tipo de meio suporte didático

Verifica-se na Figura 6 a produção bibliográfica por tipo de meio suporte didático a cada ano. Conforme referem Wu e Shah,¹ as diferentes ferramentas de visualização são destinadas a dificuldades específicas de aprendizagem, citando as potencialidades de cada tipo de recurso.

De acordo com os resultados, o tipo de suporte mais empregado é aquele de natureza interativa, compreendendo softwares computacionais que oferecem possibilidades de interação modulada com a informação e, em alguns poucos casos, entre usuários. A ampliação do uso desses recursos pode ter sido motivada pelo rápido avanço tecnológico, que contribuiu para o desenvolvimento de softwares educacionais.⁶⁸ Já a interatividade entre aluno e ferramenta educacional, quando incorporada à prática pedagógica, favorece a elaboração conceitual entre os estudantes, que se tornam mais engajados no processo de aprendizagem.⁶⁹

Diversos trabalhos demonstram os efeitos positivos da utilização de softwares interativos no ensino de química.⁷⁰ Nestes estudos, os alunos do grupo de pesquisa que fizeram uso deste recurso obtiveram melhor desempenho em avaliações realizadas após a aplicação

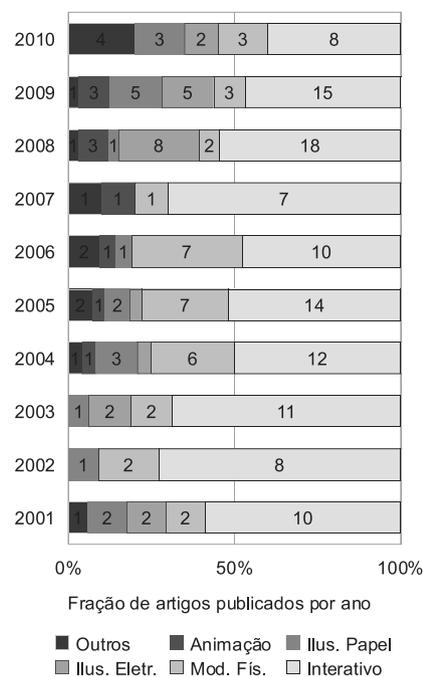


Figura 6. Classificação da produção anual de artigos, segundo meio suporte do curso didático. Os dados em barras exprimem para cada ano a produção em termos do % do total de artigos publicados no ano. Os números nas barras indicam os valores absolutos. Os meios suporte dos recursos de visualização indicados nos artigos foram classificadas nas categorias: i – Interativo: programa computacional interativo; ii – Mod. Físico: modelos moleculares físicos; iii – Ilus. Eletr.: ilustração em meio eletrônico; iv – Ilus. Papel: ilustração impressa; v – Animação: animações com possibilidades mínimas de controle; vi – Outros

da sequência didática, quando comparados aos alunos do grupo controle, que tiveram aulas sobre o mesmo assunto, mas sem o uso do software. No entanto, o melhor desempenho nem sempre parece refletir um aprendizado significativo do conceito abordado, pois, em longo prazo, grupos controle e de pesquisa podem apresentar resultados semelhantes na mesma avaliação,⁴⁹ o que sugere a necessidade de mais estudos acerca do assunto.

Sobre o uso dessa tecnologia pelos professores, aqueles que a utilizam afirmam que falta incentivo ao emprego de softwares na sala de aula, ressaltando a necessidade de treinamento pedagógico e técnico aos professores para a utilização efetiva dessa tecnologia na prática docente.⁷¹

A despeito das variações no número de artigos publicados que citam o software interativo como suporte, não é possível observar uma tendência clara de aumento ou diminuição de seu uso no período considerado. Em contrapartida, o emprego de modelos moleculares físicos parece estar diminuindo ao longo dos anos, apesar de alguns autores defenderem que o uso de modelos físicos pode ser mais eficiente no ensino de química, uma vez que são ferramentas mais concretas, possíveis de serem tocadas e manipuladas, características estas que favoreceriam o aprendizado dos alunos.⁷² Atentos às potencialidades e limitações de cada recurso, alguns estudos apontam que o uso associado de modelos físicos com outras ferramentas de visualização, como os softwares, pode melhorar o aprendizado de química.⁷³

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou características gerais da pesquisa em visualização no ensino de química na última década, mostrando

que este tema tem despertado o interesse de mais pesquisadores da educação, de diferentes países. Contudo, ainda se verifica certa predominância de trabalhos provenientes de países de língua inglesa a despeito da participação crescente de nações falantes de outras línguas. Os trabalhos na área utilizam mais metodologias de investigação quantitativas, apesar de se observar uma tendência de se usar metodologias de caráter mais qualitativo. O uso deste tipo de metodologia permite, no caso da pesquisa em visualização no ensino de química, o acesso à forma como os alunos constroem os seus modelos mentais, o que está de acordo com a influência atribuída a estas ferramentas na construção destes modelos e na aprendizagem. Os trabalhos em grupo predominam como metodologia aplicada, assim como as pesquisas que tratam de recursos didáticos, muito embora as pesquisas investigativas estejam aumentando. A maior parte dos estudos envolve principalmente o uso de ferramentas computacionais de visualização dedicadas comumente aos conceitos relacionados à estrutura da matéria.

Este estudo evidencia a necessidade de se direcionar as pesquisas sobre o tema visualização, visando a ampliar o entendimento sobre o tema e suas implicações diretas e indiretas ao ensino de química. Destacamos a produção ainda incipiente relacionada ao papel da visualização na formação de professores quer seja inicial ou em serviço, bem como as pesquisas sobre os processos de aprendizagem dos alunos em atividades apoiadas por ferramentas visuais por meio de pesquisas qualitativas.

MATERIAL SUPLEMENTAR

No material suplementar, encontra-se a tabela de dados a partir dos quais se realizou este estudo. Nessa tabela, estão compiladas as referências de cada artigo – incluindo título do periódico e do artigo, ano, volume e página da publicação, autores e palavras-chave – além da classificação de cada trabalho analisado, segundo os parâmetros de categorização empregados na metodologia de pesquisa. Está disponível em <http://quimicanova.sbq.org.br>, em arquivo pdf, com acesso livre.

REFERÊNCIAS

1. Wu, H.-K.; Shah, P.; *Sci. Educ.* **2004**, *88*, 465.
2. Gobert, J. D. Em *Leveraging technology and cognitive theory on visualization to promote students' science learning and literacy*; Gilbert, J. K., ed.; Springer: Netherlands, 2005.
3. Gilbert, J. K.; Reiner, M.; Nakhleh, M. Em *Introduction*; Gilbert, J. K.; Reiner, M.; Nakhleh, M., eds.; Springer: New York, 2008.
4. Barnea, N. Em *Teaching and learning about chemistry and modeling with a computer-managed modeling system*; Gilbert, J. K.; Boulter, C., eds.; Kluwer: Dordrecht, 2000; Greca, I. M. Em *Algumas metodologias para o estudo de modelos*; Santos, F.; Greca, I. M., eds.; Unijuí: Ijuí, 2007; Gilbert, J. K. Em *Visualization: a metacognitive skill in science and science education*; Gilbert, J. K., ed.; Springer: Dordrecht, 2007; Rapp, D. N. Em *Mental models: theoretical issues for visualizations in science education*; Gilbert, J. K., ed.; Springer: Dordrecht, 2007; Rapp, D.; Kurby, C. Em *The 'ins' and 'outs' of learning: internal representations and external visualizations*; Gilbert, J. K.; Reiner, M.; Nakhleh, M., eds.; Springer: New York, 2008; Reiner, M. Em *The nature and development of visualization: a review of what is known*; Gilbert, J. K.; Reiner, M.; Nakhleh, M., eds.; Springer: New York, 2008.
5. Wu, H.; Krajcik, J. S.; Soloway, J.; *J. Res. Sci. Teach.* **2001**, *38*, 821; Ferk, V.; Vrtacnik, M.; Blejec, A.; Girl, A.; *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, *25*, 1227; Santos, F. M. T.; Greca, I. M.; *REEC* **2005**, *4*; Tasker, R.; Dalton, R.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2006**, *7*, 141; Savec, V.; Vrtacnik, M.; Gilbert, J. K. Em *Evaluating the Educational Value of Molecular Structure Representations*; Gilbert, J. K., ed.; Springer: Dordrecht, 2007; Kozma, R.; Russell, J. Em *Assessing learning from the use of multimedia chemical visualization software*; Gilbert, J. K., ed.; Springer: Dordrecht, 2007; Arroio, A.; Honório, K.; *PEC* **2008**, *9*, 17.
6. Gilbert, J. K.; Justí, R.; Queiroz, A. S. Em *The use of a model of modeling to develop visualization during the learning of ionic bonding*; Tasar, M. F.; Cakmakci, G., eds.; Pegem Akademi: Ankara, 2010.
7. Justí, R.; Gilbert, J. K.; *Int. J. Sci. Educ.* **2002**, *24*, 369.
8. Chittleborough, G.; Treagust, D.; *Res. Sci. Educ.* **2008**, *38*, 463.
9. Cook, M. P.; *Sci. Educ.* **2006**, *90*, 1073.
10. Treagust, D.; Chittleborough, G.; Mamiala, T.; *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, *25*, 1353.
11. Yang, E.; Andre, T.; Greenbowe, T. J.; Tibell, L.; *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, *25*, 329.
12. Giordan, M.; Góis, J.; *Enseñanza de las Ciencias* **2005**, *23*, 1.
13. Costa, M. J.; Galembeck, E.; Marson, G. A.; Torres, B. B.; *PLoS Comput. Biol.* **2008**, *4*, e1000035.
14. Schonborn, K. J.; Anderson, T. R.; *BAMBED* **2006**, *34*, 94.
15. Ferreira, C.; Arroio, A.; *PEC* **2009**, *16*, 48.
16. Kozma, R.; Russell, J. Em *Pupils becoming chemists: developing representational competence*; Gilbert, J. K., ed.; Springer: Dordrecht, 2007.
17. Greeno, J.; *American Psychologist* **1998**, *53*, 5.
18. Marson, G. A.; Torres, B. B.; *J. Chem. Educ.* **2011**, *88*, 1616.
19. Chang, Y.-H.; Chang, C.-Y.; Tseng, Y.-H.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2010**, *19*, 315.
20. Megid Neto, J.; Pacheco, D. Em *Pesquisas sobre o ensino de física no nível médio no Brasil: concepção e tratamento de problemas em teses e dissertações*; Nardi, R., org.; Escrituras: São Paulo, 2001.
21. Haddad, S., coord.; *Evolução de jovens e adultos no Brasil (1996-1998)*, MEC/INEP/COMPED: Brasília, 2002, (Série: Estado do conhecimento).
22. Schnetzler, R. P.; *Quim. Nova* **2002**, *25* supl. 1, 14.
23. Francisco, C. A.; Queiroz, S. L.; *Quim. Nova* **2008**, *31*, 2100.
24. Severino, A. J.; *Metodologia do trabalho científico*, Cortes: São Paulo, 1976.
25. Ferreira, N. S. A.; *Educação e sociedade* **2002**, *23*, 257.
26. Talanquer, V.; *Int. J. Sci. Educ.* **2011**, *33*, 179.
27. Gabel, D.; *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 548.
28. Lee, M.-S.; Wu, Y.-T.; Tsai, C.-C.; *Int. J. Sci. Educ.* **2009**, *31*, 1999.
29. Vygotsky, L. S.; *Mind in Society*, Harvard University Press: Cambridge, 1978.
30. Wertsch, J. V.; *Vygotsky e a formação social da mente*, Ediciones Paidós: Barcelona, 1988.
31. Machado, A. H.; *Aula de Química: discurso e conhecimento*, Editora Unijuí: Ijuí, 1999.
32. Paivio, A.; *Mental representations: a dual-coding approach*, Oxford University Press: New York, 1986.
33. Sweller, J.; *Cognitive load theory: a special issue of educational psychologist*, LEA Inc.: London, 2003.
34. Mayer, R.; *Multimedia learning*, Cambridge University Press: New York, 2001.
35. Reed, S. K.; *Educational Psychologist* **2006**, *41*, 87.
36. Johnson-Laird, P. N.; *Mental Models*, Harvard University Press: Cambridge, 1983.
37. Sternberg, R. J.; *Cognitive psychology*, Harcourt Brace College Publishers: Forth Worth, 1996.
38. Cheng, M.; Gilbert, J. K. Em *Towards a better utilization of diagrams in research into the use of representative levels in chemical education*; Gilbert, J. K.; Treagust, D., eds.; Springer: New York, 2009.
39. Gilbert, J. K. Em *Visualization: a metacognitive skill in science and science education*; Gilbert, J. K., ed.; Springer: Dordrecht, 2007; Rapp, D. N. Em *Mental models: theoretical issues for visualizations in science education*; Gilbert, J. K., ed.; Springer: Dordrecht, 2007; Briggs, M.; Bodner, G. Em *A model of molecular visualization*; Gilbert, J. K., ed.;

- Springer: Dordrecht, 2007; Rapp, D.; Kurby, C. Em *The 'ins' and 'outs' of learning: internal representations and external visualizations*; Gilbert, J. K.; Reiner, M.; Nakhleh, M., eds.; Springer: New York, 2008.
40. Evans, K. L.; Yaron, D.; Leinhardt, G.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2008**, *9*, 208; Özmen, H.; *Comput. Educ.* **2008**, *51*, 423; Özmen, H.; Demircioglu, H.; Demircioglu, G.; *Comput. Educ.* **2009**, *52*, 681; Limniou, M.; Papadopoulos, N.; Whitehead, C.; *Comput. Educ.* **2009**, *52*, 45; Yang, E. M.; Greenbowe, T. J.; Andre, T.; *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, 587; Arasasingham, R. D.; Taagepera, M.; Potter, F.; Martorell, I.; Lonjers, S.; *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 1251; Yezierski, E. J.; Birk, J. P.; *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 954; Frailich, M.; Kesner, M.; Hofstein, A.; *J. Res. Sci. Teach.* **2009**, *46*, 289; Rotbain, Y.; Marbach-Ad, G.; Stavy, R.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2008**, *17*, 49.
41. Trey, L.; Khan, S.; *Comput. Educ.* **2008**, *51*, 519; Limniou, M.; Roberts, D.; Papadopoulos, N.; *Comput. Educ.* **2008**, *51*, 584; Yang, E.; Andre, T.; Greenbowe, T. J.; Tibell, L.; *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, *25*, 329; Ardac, D.; Akaygun, S.; *Int. J. Sci. Educ.* **2005**, *27*, 1269; Aldahmash, A. H.; Araham, M. R.; *J. Chem. Educ.* **2009**, *86*, 1442; Rotbain, Y.; Marbach-Ad, G.; Stavy, R.; *J. Res. Sci. Teach.* **2006**, *43*, 500; Marbach-Ad, G.; Rotbain, Y.; Stavy, R.; *J. Res. Sci. Teach.* **2008**, *45*, 273.
42. Liu, H. C.; Andre, T.; Greenbowe, T. J.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2008**, *17*, 466.
43. Cook, M.; Wiebe, E. N.; Carter, G.; *Sci. Edu.* **2008**, *92*, 848.
44. Cook, M. P.; *Sci. Edu.* **2006**, *90*, 1073.
45. Giudice, J.; Galagovsky, L.; *REEC* **2008**, *7*, 629.
46. Adadan, E.; Irving, K. E.; Trundlek, K. C.; *Int. J. Sci. Educ.* **2009**, *31*, 1743.
47. Yezierski, E. J.; Birk, J. P.; *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 954.
48. Yezierski, E. J.; Birk, J. P.; *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 954; Snir, J.; Smith, C. L.; Raz G.; *Sci. Edu.* **2003**, *87*, 794.
49. Stern, L.; Barnea, N.; Shauli, S.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2008**, *17*, 305.
50. Pellegrinet, S. C.; Mata, E. G.; *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 73.
51. Sandvoss, L. M.; Harwood, W. S.; Korkmaz, A.; Bollinger, J. C.; Huffman, J. C.; Huffman, J. N.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2003**, *12*, 277.
52. Mc Kay, S. E.; Boone, S. R.; *J. Chem. Educ.* **2001**, *78*, 1487; Sein Jr, L. T.; *J. Chem. Educ.* **2010**, *87*, 827; Korkmaz, A.; Harwood, W. S.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2004**, *13*, 243; Nottis, K. E. K.; Kastner, M. E.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2005**, *14*, 51.
53. Dalagarno, B.; Bishop, A. G.; Adlong, W.; Bedgood Jr, D. R.; *Comput. Educ.* **2009**, *53*, 853; Limniou, M.; Papadopoulos, N.; Whitehead, C.; *Comput. Educ.* **2009**, *52*, 45; Papadopoulos, N.; Limniou, M.; *J. Chem. Educ.* **2003**, *80*, 709; Martínez-Jiménez, P.; Pontes-Pedrajas, A.; Polo, J.; Climent-Bellido, M. S.; *J. Chem. Educ.* **2003**, *80*, 346.
54. Pinto, A. C.; *J. Braz. Chem. Soc.* **2008**, *19*, nº 5, editorial.
55. Papadopoulos, N.; Limniou, M.; *J. Chem. Educ.* **2003**, *80*, 709.
56. Martínez-Jiménez, P.; Pontes-Pedrajas, A.; Polo, J.; Climent-Bellido, M. S.; *J. Chem. Educ.* **2003**, *80*, 346.
57. Dalagarno, B.; Bishop, A. G.; Adlong, W.; Bedgood Jr, D. R.; *Comput. Educ.* **2009**, *53*, 853.
58. Limniou, M.; Papadopoulos, N.; Whitehead, C.; *Comput. Educ.* **2009**, *52*, 45.
59. Ghaffari, S.; *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 1182; Bindel, T. H.; *J. Chem. Educ.* **2008**, *85*, 303.
60. Ardac, D.; Akaygun, S.; *Int. J. Sci. Educ.* **2005**, *27*, 1269.
61. White, R.; *Res. Sci. Educ.* **2007**, *27*, 215.
62. Nottis, K. E. K.; Kastner, M. E.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2005**, *14*, 51; Santos, F. M. T.; Greca, I. M.; *REEC* **2005**, *4*.
63. Pierri, E.; Karatrantou, A.; Panagiotakopoulos, C.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2008**, *9*, 234; Treagust, D. F.; Chittleborough, G.; Mamiala, T. L.; *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, *25*, 1353; Maia, P. F.; Justi, R.; *Int. J. Sci. Educ.* **2009**, *31*, 603; Wu, H. K.; Krajcik, J. S.; Soloway, E.; *J. Res. Sci. Teach.* **2001**, *38*, 821; Treagust, D. F.; Chittleborough, G. D.; Mamiala, T. L.; *Res. Sci. Educ.* **2004**, *34*, 1.
64. Tuvi-Arad, I.; Blonder, R.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2010**, *11*, 48; Kelly, R. M.; Jones, L. L.; *J. Chem. Educ.* **2008**, *85*, 303; Kerby, H. W.; Cantor, J.; Weiland, M.; Barbiarz, C.; Kerby, A. W.; *J. Chem. Educ.* **2010**, *87*, 1024; Wu, H. K.; Krajcik, J. S.; Soloway, E.; *J. Res. Sci. Teach.* **2001**, *38*, 821; Kelly, R. M.; Jones, L. L.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2007**, *16*, 413; Liu, H. C.; Andre, T.; Greenbowe, T. J.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2008**, *17*, 466; Treagust, D. F.; Chittleborough, G. D.; Mamiala, T. L.; *Res. Sci. Educ.* **2004**, *34*, 1.
65. Prain, V.; Tytler, R.; Peterson, S.; *Int. J. Sci. Educ.* **2009**, *31*, 787.
66. Ardac, C.; Akaygun, S.; *J. Res. Sci. Teach.* **2004**, *41*, 317.
67. Kelly, R. M.; Jones, L. L.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2007**, *16*, 413.
68. Arroio, A.; Honório, K. M.; Weber, K. C.; Homem-de-Mello, P.; da Silva, A. B. F.; *Quim. Nova* **2005**, *28*, 360.
69. Ferreira, C.; Arroio, A.; Rezende, D. B.; *Quim. Nova* **2011**, *34*, 1661.
70. Özmen, H.; *Comput. Educ.* **2008**, *51*, 423; Özmen, H.; Demircioglu, H.; Demircioglu, G.; *Comput. Educ.* **2009**, *52*, 681; Yang, E. M.; Greenbowe, T. J.; Andre, T.; *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, 587; Arasasingham, R. D.; Taagepera, M.; Potter, F.; Martorell, I.; Lonjers, S.; *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 1251; Frailich, M.; Kesner, M.; Hofstein, A.; *J. Res. Sci. Teach.* **2009**, *46*, 289; Rotbain, Y.; Marbach-Ad, G.; Stavy, R.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2008**, *17*, 49; Stern, L.; Barnea, N.; Shauli, S.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2008**, *17*, 305.
71. Aksela, M.; Lundell, J.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2008**, *9*, 301.
72. Herman, T.; Colton, S.; Batiza, A.; Patrick, M.; Franzen, M.; Goodsell, D. S.; *BAMBED* **2006**, *34*, 247; Pellegrinet, S. C.; Mata, E. G.; *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 73.
73. Roberts, J. R.; Hagedorn, E.; Dillenburg, P.; Patrick, M.; Herman, T.; *BAMBED* **2005**, *33*, 105; Cox, J. P. L.; *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 1319; Geldenhuys, W. J.; Hayes, M.; Vand Der Schyf, C. J.; Allen, D. D.; Malan, S. F.; *J. Chem. Educ.* **2007**, *84*, 979.