

## 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.<sup>1</sup> 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.

Gobert<sup>2</sup> 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,<sup>3</sup> 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.<sup>4</sup>
- 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.<sup>5</sup>

Para Gilbert *et al.*,<sup>6</sup> 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 Gilbert<sup>7</sup> 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,<sup>8</sup> 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 visão<sup>9</sup> 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,<sup>10</sup> as representações visuais têm sido empregadas para auxiliar os estudantes a aprenderem conceitos químicos pela construção de seus próprios modelos mentais.<sup>1,8</sup> 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.<sup>9,11</sup>

A relação entre visualização e o ensino de química foi apontada no estudo de Wu e Shah.<sup>1</sup> 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,<sup>11</sup> 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.<sup>12</sup>

Em relação às habilidades de visualização, Costa et al.<sup>13</sup> 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 Anderson<sup>14</sup> 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,<sup>15</sup> 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 Russell<sup>16</sup> atribuem às representações visuais um papel importante dentro da perspectiva da Teoria Situativa.<sup>17</sup> 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 Torres<sup>18</sup> 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.<sup>19</sup> 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 Pacheco<sup>20</sup> e Haddad<sup>21</sup> 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, Schnetzler<sup>22</sup> 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 Queiroz<sup>23</sup> 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* (QNEC);
- 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):<sup>24</sup> 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.<sup>25</sup>

### 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);

4. 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);
5. 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);
6. 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 *Quím. 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

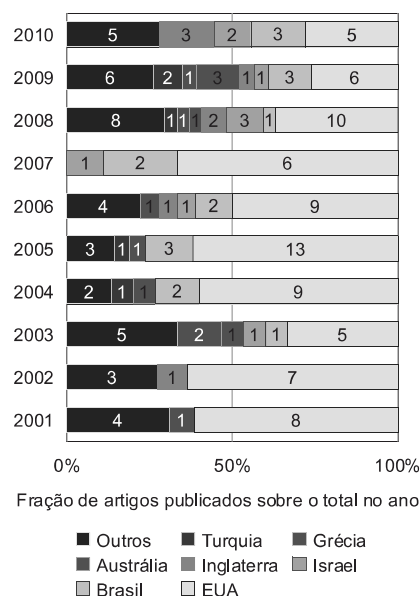
de educação em bioquímica e biologia molecular, entre os periódicos com mais artigos sobre o tema.

Como ressaltam Schonborn e Anderson,<sup>14</sup> 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,<sup>26</sup> que amplia a ideia de que o conhecimento químico pode ser expresso em três componentes: macroscópico, microscópico e simbólico.<sup>27</sup> 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.<sup>22,23</sup>

### Produção por país

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



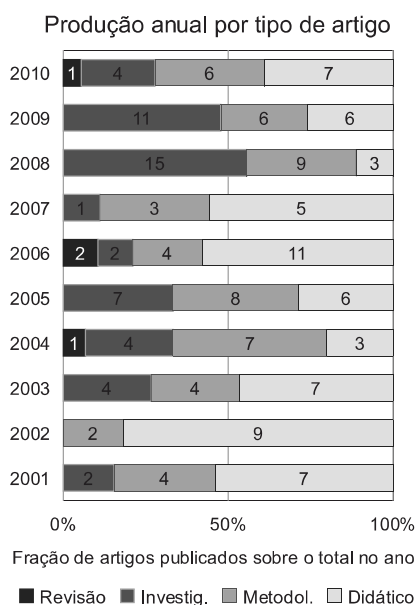
**Figura 1.** Produção anual por país de origem da instituição de filiação do primeiro autor. Os dados em barras exprimem para cada ano a produção em termos do % do total de artigos publicados no ano. Os números nas barras indicam os valores absolutos. Foram considerados os 8 países de produção mais 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.*<sup>28</sup> 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.<sup>23</sup> 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 Shah<sup>1</sup> 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,<sup>29</sup> 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.*<sup>30</sup> 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).<sup>31</sup>

Dentro da corrente da psicologia cognitiva, destacam-se a Teoria da Codificação Dual de Allan Paivio,<sup>32</sup> a Teoria da Carga Cognitiva de John Sweller<sup>33</sup> e a Teoria de Aprendizagem por Multimídia de Richard Mayer.<sup>34</sup> 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,<sup>35</sup> 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,<sup>36</sup> 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.<sup>37</sup>

Dado que o conhecimento químico é inerentemente multimodal e as palavras sozinhas não conseguem expressar todo este conhecimento,<sup>38</sup> vários autores<sup>39</sup> 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

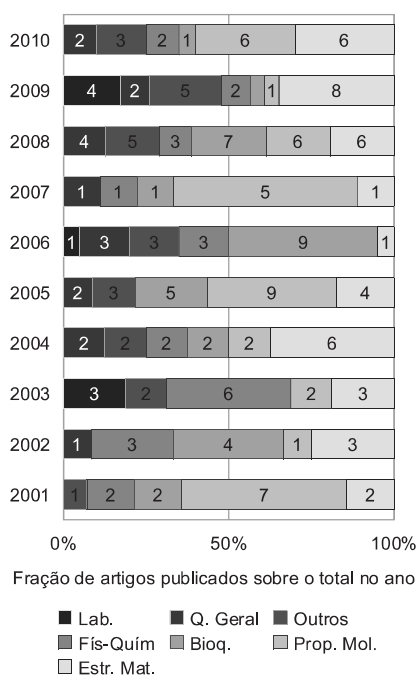
à visualização em ensino de química têm surgido e despertado o interesse dos pesquisadores.

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,<sup>40</sup> 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,<sup>41</sup> 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.*,<sup>42</sup> 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.*<sup>43</sup> 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,<sup>44</sup> 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,<sup>45</sup> mas também ao fato de que, para os alunos, não é intuitiva a ideia de que a matéria é constituída por partículas.<sup>46</sup> Problemas de aprendizagem envolvendo esse conceito podem ser resultado de uma habilidade de visualização pobre,<sup>47</sup> gerando possíveis concepções alternativas sobre esse modelo de constituição da matéria.<sup>48</sup> Stern *et al.*<sup>49</sup> 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,<sup>50</sup> reatividade<sup>51</sup> e simetria molecular.<sup>52</sup>

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.<sup>53</sup> 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.<sup>54</sup>

Alguns autores destacam, por exemplo, os custos de manutenção de um laboratório<sup>55</sup> e o elevado número de alunos nas turmas<sup>56</sup> 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.

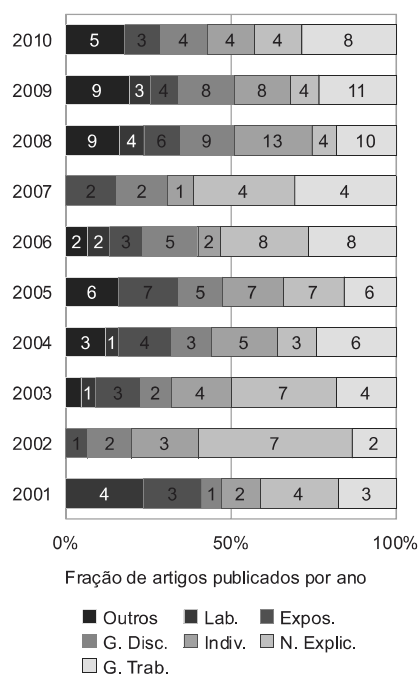
O uso de simulações também é reportado para situações de ensino à distância, com os objetivos de familiarizar os alunos de um curso de química à distância com o laboratório e prepará-los para as aulas práticas presenciais.<sup>57</sup> Como atividades pré-laboratório, as simulações também podem contribuir para preparar melhor os alunos para o trabalho prático, possibilitando o treinamento de técnicas e fornecendo o embasamento teórico associado ao experimento.<sup>58</sup> 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.<sup>59</sup> 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,<sup>60</sup> 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.,<sup>42</sup> 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.

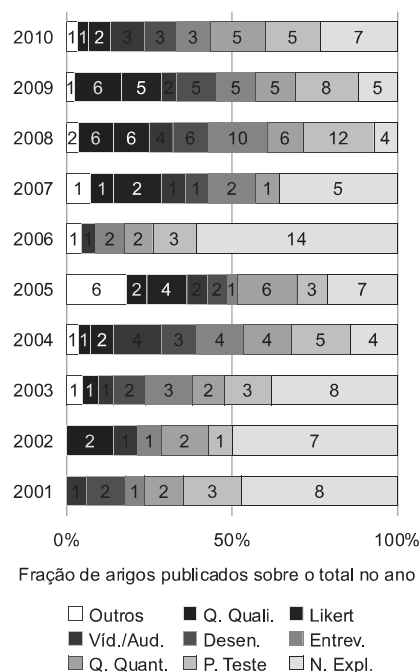
Nota-se ainda uma prevalência de trabalhos com enfoque cognitivistas (centrados na interação aluno - recursos de visualização)

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.<sup>28,61</sup> 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.<sup>62</sup> 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.<sup>63</sup> Segundo Schnetzler,<sup>22</sup> 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.<sup>64</sup> Segundo Prain *et al.*,<sup>65</sup> 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.

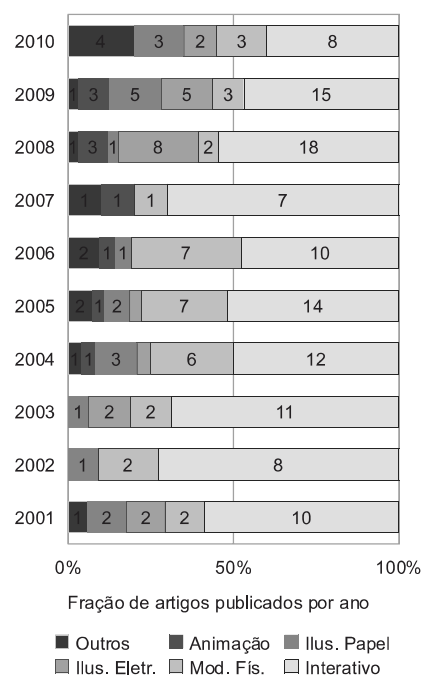
Além disso, a opção por metodologias de pesquisa variadas permite ao professor investigar e questionar inconsistências e contradições nas formas de representação utilizadas pelos alunos.<sup>66</sup> Kelly e Jones,<sup>67</sup> por exemplo, avaliaram o efeito do uso de uma animação no aprendizado do 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,<sup>1</sup> 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.<sup>68</sup> 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.<sup>69</sup>

Diversos trabalhos demonstram os efeitos positivos da utilização de softwares interativos no ensino de química.<sup>70</sup> 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,<sup>49</sup> 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.<sup>71</sup>

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.<sup>72</sup> 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.<sup>73</sup>

### 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.sbpq.org.br>, em arquivo pdf, com acesso livre.

## REFERÊNCIAS

- Wu, H.-K.; Shah, P.; *Sci. Educ.* **2004**, *88*, 465.
- 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.
- Gilbert, J. K.; Reiner, M.; Nakhleh, M. Em *Introduction*; Gilbert, J. K.; Reiner, M.; Nakhleh, M., eds.; Springer: New York, 2008.
- 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.
- Wu, H.; Krajcik, J. S.; Soloway, J.; *J. Res. Sci. Teach.* **2001**, *38*, 821; Ferk, V.; Vrtacnik, M.; Blejec, A.; Grl, 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.
- Gilbert, J. K.; Justi, 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.
- Justi, R.; Gilbert, J. K.; *Int. J. Sci. Educ.* **2002**, *24*, 369.
- Chittleborough, G.; Treagust, D.; *Res. Sci. Educ.* **2008**, *38*, 463.
- Cook, M. P.; *Sci. Educ.* **2006**, *90*, 1073.
- Treagust, D.; Chittleborough, G.; Mamiala, T.; *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, *25*, 1353.
- Yang, E.; Andre, T.; Greenbowe, T. J.; Tibell, L.; *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, *25*, 329.
- Giordan, M.; Góis, J.; *Enseñanza de las Ciencias* **2005**, *23*, 1.
- Costa, M. J.; Galembeck, E.; Marson, G. A.; Torres, B. B.; *PloS Comput. Biol.* **2008**, *4*, e1000035.
- Schonborn, K. J.; Anderson, T. R.; *BAMBED* **2006**, *34*, 94.
- Ferreira, C.; Arroio, A.; *PEC* **2009**, *16*, 48.
- Kozma, R.; Russell, J. Em *Pupils becoming chemists: developing representational competence*; Gilbert, J. K., ed.; Springer: Dordrecht, 2007.
- Greeno, J.; *American Psychologist* **1998**, *53*, 5.
- Marson, G. A.; Torres, B. B.; *J. Chem. Educ.* **2011**, *88*, 1616.
- Chang, Y.-H.; Chang, C.-Y.; Tseng, Y.-H.; *J. Sci. Educ. Technol.* **2010**, *19*, 315.
- 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.
- Haddad, S., coord.; *Evolução de jovens e adultos no Brasil (1996-1998)*, MEC/INEP/COMPED: Brasília, 2002, (Série: Estado do conhecimento).
- Schnetzler, R. P.; *Quim. Nova* **2002**, *25* supl. 1, 14.
- Francisco, C. A.; Queiroz, S. L.; *Quim. Nova* **2008**, *31*, 2100.
- Severino, A. J.; *Metodologia do trabalho científico*, Cortes: São Paulo, 1976.
- Ferreira, N. S. A.; *Educação e sociedade* **2002**, *23*, 257.
- Talanquer, V.; *Int. J. Sci. Educ.* **2011**, *33*, 179.
- Gabel, D.; *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 548.
- Lee, M.-S.; Wu, Y.-T.; Tsai, C.-C.; *Int. J. Sci. Educ.* **2009**, *31*, 1999.
- Vygotsky, L. S.; *Mind in Society*, Harvard University Press: Cambridge, 1978.
- Wertsch, J. V.; *Vygotsky e a formação social da mente*, Ediciones Paidós: Barcelona, 1988.
- Machado, A. H.; *Aula de Química: discurso e conhecimento*, Editora Unijuí: Ijuí, 1999.
- Paivio, A.; *Mental representations: a dual-coding approach*, Oxford Uni Press: New York, 1986.
- Sweller, J.; *Cognitive load theory: a special issue of educational psychologist*, LEA Inc.: London, 2003.
- Mayer, R.; *Multimedia learning*, Cambridge University Press: New York, 2001.
- Reed, S. K.; *Educational Psychologist* **2006**, *41*, 87.
- Johnson-Laird, P. N.; *Mental Models*, Harvard University Press: Cambridge, 1983.
- Sternberg, R. J.; *Cognitive psychology*, Harcourt Brace College Publishers: Forth Worth, 1996.
- 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.
- 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; Fraillich, 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; Fraillich, 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.

## 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

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo

| Ref.                 | Título                                                                                                                                           | Autores                                                  | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                            | Conceitos (até 2)                            | Metodologia de pesquisa (até 4)                      | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)          | Meio suporte didático 1 (até 3) |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| BAMBED 2001, 29, 3   | Computer-Assisted Simulations Of Phosphofructokinase-1 Kinetics Using Simplified Velocity Equations                                              | Roy H; Diwan J; Segel L D; Segel I H                     | EUA                             | Recurso didático | phosphofructokinase; simulations; allosteric; computer; cooperativity; kinetics           | cinética                                     | Não citada                                           | Trabalho individual, Trabalho em grupo                     | Interativo                      |
| BAMBED 2002, 30, 93  | Student Difficulties With The Interpretation Of A Textbook Diagram Of Immunoglobulin G (Igg)                                                     | Schönborn K J; Anderson T R; Grayson D J                 | África do Sul                   | Recurso didático | student's conceptual and reasoning difficulties; textbook diagrams; teaching and learning | proteínas                                    | Questionários: qualitativo, Vídeo/Audio, Entrevistas | Trabalho individual                                        | Ilustração em papel             |
| BAMBED 2002, 30, 209 | Using Three-Dimensional Imaging Of Proteins: Examples Of Class Activities And Subsequent Assessments                                             | Willian K R                                              | Reino Unido                     | Recurso didático | receptors; protein structure; three-dimensional imaging                                   | proteínas                                    | Questionários: quantitativo                          | Trabalho individual                                        | Interativo                      |
| BAMBED 2002, 30, 21  | Teaching Molecular 3-D Literacy                                                                                                                  | Richardson D C; Richardson J S                           | EUA                             | Metodologia      | Não citadas                                                                               | biomoléculas                                 | Pré/Pós-testes, Questionários: qualitativo           | Trabalho individual, Trabalho em grupo, Grupo de discussão | Interativo                      |
| BAMBED 2002, 30, 130 | Evaluation Of Molecular Visualization Software For Teaching Protein Structure: Differing Outcomes From Lecture And Lab                           | White B; Kim S; Sherman K; Weber N                       | EUA                             | Metodologia      | evaluation; molecular visualization; protein structure                                    | proteínas                                    | Questionários: quantitativo                          | Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Aula expositiva     | Interativo                      |
| BAMBED 2003, 31, 93  | On The Convenience Of Using A Computer Simulation To Teach Enzyme Kinetics To Undergraduate Students With Biological Chemistry-Related Curricula | González-Cruz J; Rodríguez-Sotres R; Rodríguez-Penagos M | México                          | Investigação     | teaching enzyme kinetics; computer-assisted teaching                                      | cinética                                     | Relatório, Pré/ Pós-testes                           | Trabalho individual, Grupo de discussão, Outros            | Interativo                      |
| BAMBED 2003, 31, 234 | Energy Diagrams For Enzyme-Catalyzed Reactions: Concepts And Misconcepts                                                                         | Aledo J C; Lobo C; Del Valle A E                         | Espanha                         | Recurso didático | reaction coordinate; activation energy; thermokinetics                                    | cinética                                     | Não citada                                           | Não citada                                                 | Ilustração em papel             |
| BAMBED 2004, 32, 201 | Lucenz Simulator: A Tool For The Teaching Of Enzyme Kinetics                                                                                     | Clark A G                                                | Nova Zelândia                   | Recurso didático | kinetics; simulation; demonstration; modeling; inhibition; activation energy              | cinética                                     | Não citada                                           | Não citada                                                 | Interativo                      |
| BAMBED 2005, 33, 65  | Software For Teaching Structure-Hydrophobicity Relationships                                                                                     | White B; Perna I; Carison R                              | EUA                             | Metodologia      | laboratory exercises; cheminformatics; hydrophobicity; molecular properties               | interações intermoleculares, ligação química | Questionários: quantitativo                          | Trabalho em grupo, Aula expositiva                         | Interativo                      |

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

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                 | Título                                                                                                                                                                 | Autores                                                                         | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                                        | Conceitos (até 2)           | Metodologia de pesquisa (até 4)        | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)        | Meio suporte didático 1 (até 3) |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------|
| BAMBED 2005, 33, 105 | Physical Models Enhance Molecular Three-Dimensional Literacy In An Physical Models Enhance Molecular Three-Dimensional Literacy In An Introductory Biochemistry Course | Roberts J R; Hagedorn E; Dillenburg P; Patrick M; Herman T                      | EUA                             | Investigação     | physical models; swiss protein bank viewer; biochemical education                                                                                                     | biomoléculas                | Likert, Questionários: quantitativo    | Trabalho individual, Grupo de discussão, Aula expositiva | Modelos físicos, Interativo,    |
| BAMBED 2005, 33, 194 | Molecular Modeling Of Heme Proteins Using Moe: Bio-Inorganic And Structure-Function Activity For Undergraduates                                                        | Ray G B                                                                         | EUA                             | Metodologia      | metalloproteins; computational biochemistry; three dimensional-visualization; bioinorganic; MOE                                                                       | proteínas                   | Relatórios, Questionários: qualitativo | Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Outros, Outros    | Interativo                      |
| BAMBED 2005, 33, 319 | Exploring Protein Function And Evolution Using Free Online Bioinformatics Tools                                                                                        | Weaver T; Cooper S                                                              | EUA                             | Metodologia      | molecular model; secondary structure; motif; alignment; ortholog; paralog                                                                                             | proteínas                   | Questionários                          | Não citada                                               | Interativo                      |
| BAMBED 2006, 34, 343 | Jamvle, A New Integrated Molecular Visualization Learning Environment                                                                                                  | Bottomley S; Chandler D; Morgan E; Helmerhorst E.                               | Austrália                       | Recurso didático | evaluation of computer-based learning systems; molecular visualization; interactive learning environment                                                              | proteínas                   | Não citada                             | Trabalho em grupo, Grupo de discussão                    | Interativo                      |
| BAMBED 2006, 34, 187 | A New Three-Dimensional Educational Model Kit For Building Dna And Rna Molecules: Development And Evaluation                                                           | Beltramini L M; Araújo A P U; Oliveira T H G; Abel L D S; Silva A R; Santos N F | Brasil                          | Recurso didático | nucleic acids; DNA; RNA; molecular structures; educational model and evaluation                                                                                       | ácidos nucleicos            | Questionários: quantitativo            | Trabalho em grupo, Grupo de discussão                    | Modelos físicos                 |
| BAMBED 2006, 34, 94  | The Importance Of Visual Literacy In The Education Of Biochemists                                                                                                      | Schönborn K J; Anderson T R                                                     | África do Sul                   | Revisão          | external representation; visual literacy; visualization; interpretation; teaching; learning                                                                           | Não especificado            | Não citada                             | Não citada                                               | Outros                          |
| BAMBED 2006, 34, 255 | Biomolecules In The Computer: Jmol To The Rescue                                                                                                                       | Herráez A                                                                       | Espanha                         | Recurso didático | molecular models; Jmol; Chime; open source; proteins                                                                                                                  | biomoléculas                | Não citada                             | Não citada                                               | Interativo                      |
| BAMBED 2006, 34, 247 | Tactile Teaching: Exploring Protein Structure/Function Using Physical Models                                                                                           | Herman T; Colton S; Batista A; Patrick M; Franzen M; Goodsell D S               | EUA                             | Metodologia      | Não citadas                                                                                                                                                           | proteínas                   | Não citada                             | Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Outros            | Modelos físicos                 |
| BAMBED 2006, 34, 402 | Ez-Viz, A Tool For Simplifying Molecular Viewing In Pymol                                                                                                              | Grell L; Parkin C; Slate L; Craig P A                                           | EUA                             | Recurso didático | Não citadas                                                                                                                                                           | biomoléculas                | Não citada                             | Não citada                                               | Interativo                      |
| BAMBED 2007, 35, 238 | Molecular Modeling Of Estrogen Receptor Using Molecular Operating Environment                                                                                          | Roy U; Luck L A                                                                 | EUA                             | Recurso didático | computational biology; biotechnology education; computers in research and teaching; molecular modeling; estrogen receptor; estradiol; molecular operating environment | interações intermoleculares | Não citada                             | Não citada                                               | Interativo                      |
| BAMBED 2008, 36, 77  | Interactive Computer Simulations Of Genetics, Biochemistry, And Molecularbiology                                                                                       | White B T; Bolker E D                                                           | EUA                             | Metodologia      | computer simulation; genetics; protein folding; biochemistry; molecular biology                                                                                       | ácidos nucleicos, proteínas | Relatórios, Vídeo/Áudio                | Trabalho em grupo, Grupo de discussão                    | Interativo                      |
| BAMBED 2008, 36, 203 | Tonal Interface To Macromolecules (Timmol: A Textual And Tonal Tool For Molecular Visualization                                                                        | Cordes T J; Carlson C B; Forest K T                                             | EUA                             | Recurso didático | three-dimensional visualization; spatial learning; 3D learning; macromolecular structure                                                                              | proteínas                   | Pré/Pós-testes, Likert                 | Trabalho individual                                      | Interativo                      |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                          | Título                                                                                                                                  | Autores                                                     | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                                                                                           | Conceitos (até 2)                                | Metodologia de pesquisa (até 4)                       | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)              | Meio suporte didático 1 (até 3) |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2008</b> , 9, 301  | Computer-Based Molecular Modelling: Finnish School Teachers' Experiences And Views                                                      | Aksela M; Lundell J                                         | Finlândia                       | Investigação     | information and communications technology; chemistry teaching; molecular modelling; Finish school chemistry teachers; upper secondary school; teacher training; life-long learning                                       | Não especificado                                 | Likert, Questionários: qualitativo, Pré/Pós-testes    | Outros                                                         | Interativo                      |
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2008</b> , 9, 234  | Exploring The Phenomenon Of 'Change Of Phase' Of Pure Substances: Using The Microcomputer-Based-Laboratory (Mbl System)                 | Pierri E; Karatrantou A; Panagiotakopoulos C                | Grécia                          | Metodologia      | phase change; melting point; freezing point; microcomputer-based-laboratory (MBL system)                                                                                                                                 | interações intermoleculares                      | Entrevistas, Vídeo/Audio                              | Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Trabalho em laboratório | Ilustração eletrônica           |
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2008</b> , 9, 277  | Simchemistry As An Active Learning Tool In Chemical Education                                                                           | Bolton K; Saalman E; Christie M; Ingerman A; Linder C       | Suécia                          | Metodologia      | molecular simulation; active learning; visualization in learning; cooperative learning; reflective diaries                                                                                                               | estrutura molecular, interações intermoleculares | Entrevistas, Seminários                               | Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Aula expositiva         | Interativo                      |
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2008</b> , 9, 169  | Impact Of A Pre-Laboratory Organic-Extraction Simulation Comprehension And Attitudes Of Undergraduate Chemistry Students                | Supasorn S; Suits J P; Jones L L; Vibuljan S                | Tailândia                       | Investigação     | organic chemistry; extraction; spatial ability; animation; simulation; visualization; mental models; simulated experiments; micro/macroscopic levels; higher-/lower-order cognitive skills; particulate nature of matter | interações intermoleculares                      | Entrevistas, Pré/Pós-testes, Likert                   | Não citada                                                     | Interativo                      |
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2008</b> , 9, 11   | Probing Student Teachers' Subject Content Knowledge In Chemistry: Case Studies Using Dynamic Computer Models                            | Toplis R                                                    | Reino Unido                     | Investigação     | models; animations; misconceptions; alternative frameworks                                                                                                                                                               | ligação química, reações                         | Entrevistas                                           | Outros, Grupo de discussão, Trabalho em grupo                  | Interativo                      |
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2008</b> , 9, 208  | Learning Stoichiometry: A Comparison Of Text And Multimedia Formats                                                                     | Evans K L; Yaron D; Leinhardt G                             | EUA                             | Investigação     | online instruction; cognitively informed instruction; randomized design; stoichiometry; virtual laboratory; undergraduate general chemistry                                                                              | estequiometria                                   | Pré/Pós-Testes                                        | Outros, Outros, Trabalho individual                            | Interativo                      |
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2009</b> , 10, 62  | Visualization And Interactivity In The Teaching Of Chemistry To Science And Non-Science Students                                        | Venkataraman B                                              | EUA                             | Metodologia      | visualization; molecular modelling; non-science majors; assessment; mental models                                                                                                                                        | vários                                           | Questionários: quantitativo                           | Trabalho em grupo, Grupo de discussão                          | Interativo                      |
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2009</b> , 10, 296 | Organicpad: An Interactive Freehand Drawing Application For Drawing Lewis Structures And The Development Of Skills In Organic Chemistry | Cooper M M; Grove N P; Pargas R; Bryfeyzinski S P; Gatlin T | EUA                             | Recurso didático | Lewis structures; organic chemistry; information technology                                                                                                                                                              | estrutura de Lewis                               | Não citada, Pré/Pós-testes                            | Não citada                                                     | Interativo                      |
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2010</b> , 11, 48  | Continuous Symmetry And Chemistry Teachers: Learning Advanced Chemistry Content Through Novel Visualization Tools                       | Tuvi-Arad I; Blonder R                                      | Israel                          | Metodologia      | symmetry, continuous symmetry; chemistry teachers; content knowledge; professional development; molecular visualization                                                                                                  | simetria                                         | Entrevistas, Vídeo/Audio, Questionários: quantitativo | Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Aula expositiva, Outros | Interativo                      |
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2010</b> , 11, 154 | Student-Generated Submicro Diagrams: A Useful Tool For Teaching And Learning Chemical Equations And Stoichiometry                       | Davidowitz B; Chittleborough G; Murray E                    | África do Sul                   | Metodologia      | chemical equations; stoichiometry; submicroscopic diagrams; representations                                                                                                                                              | estequiometria                                   | Questionários: quantitativo, Desenho                  | Trabalho em grupo                                              | Ilustração em papel             |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                         | Título                                                                                                                                                    | Autores                                                                        | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                  | Conceitos (até 2)                                | Metodologia de pesquisa (até 4)                      | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)                                           | Meio suporte didático 1 (até 3)             |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Chem. Educ. Res. Pract. <b>2010</b> , 11, 43 | Origami: A Versatile Modeling System For Visualising Chemical Structure And Exploring Molecular Function                                                  | Davis J; Leslie R; Billington S; Slater P R                                    | Reino Unido                     | Recurso didático | origami; models; shape; modeling; molecular shape; visualization                                                                                | estrutura molecular, interações intermoleculares | Questionários: quantitativo                          | Trabalho em grupo, Outros                                                                   | Modelos físicos                             |
| Comput. Educ. <b>2007</b> , 48, 30           | Transition From Traditional To Ict-Enhanced Learning Environments In Undergraduate Chemistry Courses                                                      | Barak M                                                                        | Israel                          | Recurso didático | improving classroom teaching; post-secondary education; visualization; teaching/learning strategies                                             | estrutura molecular                              | Entrevistas, Fórum eletrônico/ e-mail                | Trabalho em grupo, Grupo de discussão                                                       | Interativo                                  |
| Comput. Educ. <b>2008</b> , 51, 519          | How Science Students Can Learn About Unobservable Phenomena Using Computer-Based Analogies                                                                | Trey L; Khan S                                                                 | Canadá                          | Investigação     | simulations; multimedia/hypermedia systems; interactive learning environments; teaching strategies/learning strategies                          | equilíbrio                                       | Questionários: quantitativo, Desenho                 | Trabalho individual                                                                         | Interativo, Ilustração eletrônica           |
| Comput. Educ. <b>2008</b> , 51, 423          | The Influence Of Computer-Assisted Instruction On Students' Conceptual Understanding Of Chemical Bonding And Attitude Toward Chemistry: A Case For Turkey | Özmen H                                                                        | Turquia                         | Investigação     | computer-assisted instruction; chemical bonding; attitude; alternative conception                                                               | ligação química                                  | Pré/Pós-testes, Likert                               | Trabalho em grupo, Trabalho individual                                                      | Interativo                                  |
| Comput. Educ. <b>2008</b> , 51, 584          | Full Immersive Virtual Environment Cavetm In Chemistry Education                                                                                          | Limniou M; Roberts D; Papadopoulos N                                           | Reino Unido                     | Metodologia      | interactive learning environment; virtual reality; improving classroom teaching                                                                 | reações                                          | Pré/Pós-testes                                       | Trabalho em grupo                                                                           | Outros, Animação                            |
| Comput. Educ. <b>2009</b> , 53, 853          | Effectiveness Of A Virtual Laboratory As A Preparatory Resource For Distance Education Chemistry Students                                                 | Dalgarno B; Bishop A G; Adlong W; Bedgood Jr D R                               | Austrália                       | Investigação     | virtual reality; simulations; interactive learning environments; distance education; post-secondary education; chemistry education              | Trabalho em laboratório                          | Likert, Entrevistas, Pré/Pós-testes                  | Outros, Trabalho em laboratório, Trabalho individual                                        | Interativo                                  |
| Comput. Educ. <b>2009</b> , 52, 390          | 3D Visualization Types In Multimedia Applications For Science Learning: A Case Study For 8Th Grade Students In Greece                                     | Korakakis G; Pavlatou E A; Spyrellis N                                         | Grécia                          | Investigação     | secondary education; media in education; multimedia/hypermedia systems; simulations                                                             | separação de misturas                            | Pré/Pós-testes                                       | Trabalho individual                                                                         | Interativo, Ilustração eletrônica, Animação |
| Comput. Educ. <b>2009</b> , 52, 681          | The Effects Of Conceptual Change Texts Accompanied With Animations On Overcoming 11Th Grade Students' Alternative Conceptions Of Chemical Bonding         | Özmen H; Demircioglu H; Demircioglu G                                          | Turquia                         | Investigação     | conceptual change texts; animations; alternative conception; chemical bonding                                                                   | ligação química                                  | Pré/Pós-testes                                       | Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Trabalho individual                                  | Interativo                                  |
| Comput. Educ. <b>2009</b> , 52, 45           | Integration Of Simulation Into Pre-Laboratory Chemical Course: Computer Cluster Versus Webct                                                              | Limniou M; Papadopoulos N; Whitehead C                                         | Reino Unido                     | Investigação     | simulations; teaching/learning strategies; interactive learning environments; cooperative/ collaborative learning; improving classroom teaching | titulação                                        | Questionários: quantitativo                          | Outros, Grupo de discussão, Trabalho em grupo, Trabalho individual, Trabalho em laboratório | Interativo                                  |
| Int. J. Sci. Educ. <b>2001</b> , 23, 1303    | The Impact Of Concept Mapping And Visualization On The Learning Of Secondary School Chemistry Students                                                    | Brandt L; Elen J; Hellemans J; Heerman L; Couwenberg I; Volckaert L; Morisse H | Bélgica                         | Investigação     | Não citadas                                                                                                                                     | eletroquímica                                    | Pré/Pós-testes                                       | Aula expositiva, Trabalho individual                                                        | Ilustração em papel                         |
| Int. J. Sci. Educ. <b>2003</b> , 25, 1353    | The Role Of Submicroscopic And Symbolic Representations In Chemical Explanations                                                                          | Treagust D F; Chittleborough G; Mamiala T L                                    | Austrália                       | Metodologia      | Não citadas                                                                                                                                     | vários                                           | Entrevistas, Vídeo/Audio                             | Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Aula expositiva                                      | Modelos físicos                             |
| Int. J. Sci. Educ. <b>2003</b> , 25, 329     | Spatial Ability And The Impact Of Visualization/Animation On Learning Electrochemistry                                                                    | Yang E; Andre T; Greenbowe T J; Tibell L                                       | EUA                             | Investigação     | Não citadas                                                                                                                                     | eletroquímica                                    | Questionários: quantitativo, Pré/Pós-testes, Desenho | Aula expositiva, Trabalho individual                                                        | Interativo, Ilustração eletrônica           |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                      | Título                                                                                                                               | Autores                                                                      | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                                    | Conceitos (até 2)                       | Metodologia de pesquisa (até 4)                  | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)                      | Meio suporte didático 1 (até 3)                    |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Int. J. Sci. Educ. <b>2005</b> , 27, 1269 | Using Static And Dynamic Visuals To Represent Chemical Change At Molecular Level                                                     | Ardac D; Akaygun S                                                           | Turquia                         | Investigação     | Não citadas                                                                                                                                                       | Natureza particular da matéria, reações | Questionários: quantitativo, Desenho             | Trabalho individual, Grupo de discussão                                | Animação, Ilustração eletrônica                    |
| Int. J. Sci. Educ. <b>2009</b> , 31, 787  | Multiple Representation In Learning About Evaporation                                                                                | Prain V; Tytler R; Peterson S                                                | Austrália                       | Metodologia      | Não citadas                                                                                                                                                       | Natureza particular da matéria          | Entrevistas, Questionários: qualitativo, Desenho | Outros, Trabalho em grupo, Grupo de discussão                          | Modelos físicos, Ilustração em papel               |
| Int. J. Sci. Educ. <b>2009</b> , 31, 603  | Learning Of Chemical Equilibrium Through Modelling-Based Teaching                                                                    | Maia P F; Justi R                                                            | Brasil                          | Metodologia      | Não citadas                                                                                                                                                       | equilíbrio                              | Vídeo/Audio, Questionários: qualitativo, Desenho | Outros, Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Trabalho em laboratório | Modelos físicos, Ilustração em papel               |
| Int. J. Sci. Educ. <b>2009</b> , 31, 1743 | Impacts Of Multi-Representational Instruction On High School Students' Conceptual Understandings Of The Particulate Nature Of Matter | Adadan E; Irving K E; Trundle K C                                            | Turquia                         | Investigação     | Não citadas                                                                                                                                                       | Natureza particular da matéria          | Questionários: qualitativo, Entrevistas, Desenho | Aula expositiva, Trabalho em grupo, Grupo de discussão                 | Interativo, Ilustração eletrônica                  |
| J. Chem. Educ. <b>2001</b> , 78, 837      | A Computer-Assisted Tutorial On Protein Structure                                                                                    | Tsai C S                                                                     | Canadá                          | Recurso didático | upper-division undergraduate; biochemistry; computer bulletin board; computer-based learning; proteins/peptides                                                   | proteínas                               | Não citada                                       | Não citada                                                             | Interativo                                         |
| J. Chem. Educ. <b>2001</b> , 78, 840      | Integrating Molecular Modeling Into The Inorganic Chemistry Laboratory                                                               | Montgomery C D                                                               | Canadá                          | Recurso didático | second-year undergraduate; laboratory instruction; molecular modeling exercises and experiments; computer-based learning; computational chemistry                 | estrutura molecular                     | Não citada                                       | Trabalho em laboratório                                                | Interativo                                         |
| J. Chem. Educ. <b>2001</b> , 78, 1560     | Spec UV-Vis: An Ultraviolet-Visible Spectrophotometer Simulation                                                                     | Papadopoulos N; Limniou M; Koklamanis G; Tsarouhas A; Roilidis M; Bigger S W | Grécia                          | Recurso didático | second-year undergraduate; analytical chemistry; computer-based learning; UV-VIS spectroscopy                                                                     | espectroscopia                          | Não citada                                       | Não citada                                                             | Interativo                                         |
| J. Chem. Educ. <b>2001</b> , 78, 121      | Teaching 1H Nmr Spectrometry Using Computer Modeling                                                                                 | Habata Y; Akabori Y                                                          | Japão                           | Recurso didático | second-year undergraduate; organic chemistry; teaching with technology; computer-based learning; molecular properties/structure                                   | espectroscopia                          | Não citada                                       | Não citada                                                             | Interativo                                         |
| J. Chem. Educ. <b>2001</b> , 78, 420      | Which Nitrogen? Combining Computer Modeling With Laboratory Work In Organic Chemistry                                                | Hull L A                                                                     | EUA                             | Recurso didático | upper-division undergraduate; organic chemistry; molecular modeling exercises and experiments; inquiry-based/discovery learning; laboratory computing/interfacing | espectroscopia                          | Não citada                                       | Trabalho em laboratório                                                | Interativo                                         |
| J. Chem. Educ. <b>2001</b> , 78, 824      | Spektri-Sim: Interactive Simulation And Analysis Of The Infrared Spectra Of Diatomic Molecules                                       | Glendening E D; Kansanoho J M                                                | EUA                             | Recurso didático | second-year undergraduate; physical chemistry; computer-based learning; IR spectroscopy                                                                           | espectroscopia                          | Não citada                                       | Trabalho em laboratório                                                | Interativo                                         |
| J. Chem. Educ. <b>2001</b> , 78, 1195     | From The Wood-Shop To Crystal Engineering: Teaching Three-Dimensional Chemistry                                                      | Martin J D                                                                   | EUA                             | Metodologia      | upper-division undergraduate; inorganic chemistry; computer-based learning; crystals/crystallography                                                              | estrutura molecular                     | Desenho                                          | Não citada                                                             | Ilustração em papel                                |
| J. Chem. Educ. <b>2001</b> , 78, 1412     | Using Computer-Based Visualization Strategies To Improve Students' Understanding Of Molecular Polarity And Miscibility               | Sanger M J; Badger S M                                                       | EUA                             | Investigação     | first-year undergraduate/general; chemical education research; multimedia-based learning; molecular properties/structure                                          | polaridade, interações intermoleculares | Pré/Pós-testes, Questionários: quantitativo      | Trabalho em laboratório                                                | Interativo, Modelos físicos, Ilustração eletrônica |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                  | Título                                                                                                                                 | Autores                                                                                          | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                    | Conceitos (até 2)                                | Metodologia de pesquisa (até 4)         | Metodologia usada no contexto educacional (até 5) | Meio suporte didático 1 (até 3) |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|
| J. Chem. Educ. <b>2001</b> , 78, 1487 | An Early Emphasis On Symmetry And A Three-Dimensional Perspective In The Chemistry Curriculum                                          | Mc Kay S E; Boone S R                                                                            | EUA                             | Metodologia      | second-year undergraduate; curriculum; group theory/symmetry                                                                                      | simetria                                         | Questionários: quantitativo             | Aula expositiva                                   | Outros                          |
| J. Chem. Educ. <b>2001</b> , 78, 1551 | Integrating Computational Chemistry Into A Project-Oriented Biochemistry Laboratory Experience: A New Twist On The Lysozyme Experiment | Peterson R R; Cox J R                                                                            | EUA                             | Metodologia      | upper-division undergraduate; biochemistry; computer bulletin board; hands-on learning/ manipulatives; carbohydrates                              | proteínas                                        | Não citada                              | Trabalho em grupo                                 | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2002</b> , 79, 588  | Teaching Bonding In Organometallic Chemistry Using Computational Chemistry                                                             | Haaren R J; Reek J N H; Oevering H; Coussens B B; Strijdonck G P F; Kamer P C J; Leeuwen P W N M | Holanda                         | Recurso didático | Não citadas                                                                                                                                       | estrutura molecular                              | Não citada                              | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2002</b> , 79, 640  | Le Chat: Simulation In Chemical Equilibrium                                                                                            | Paiva J C M; Gil V M S; Correia A F                                                              | Portugal                        | Recurso didático | Não citadas                                                                                                                                       | equilíbrio                                       | Não citada                              | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2002</b> , 79, 468  | Crystal Models Made From Clear Plastic Boxes And Their Use In Determining Avogadro'S Number                                            | Bindel T H                                                                                       | EUA                             | Recurso didático | high school/introductory chemistry; crystals/crystallography                                                                                      | estrutura molecular                              | Não citada                              | Não citada                                        | Modelos físicos                 |
| J. Chem. Educ. <b>2002</b> , 79, 638  | Kinsimxp, A Chemical Kinetics Simulation                                                                                               | Allendoerfer R D                                                                                 | EUA                             | Recurso didático | Não citadas                                                                                                                                       | cinética                                         | Não citada                              | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2002</b> , 79, 1088 | A Three-Dimensional Model For Water                                                                                                    | Johnson J L H; Yalkowsky S H; Vitz E                                                             | EUA                             | Recurso didático | high school/introductory chemistry; demonstrations; tested demonstrations; aqueous solution chemistry                                             | estrutura molecular, interações intermoleculares | Não citada                              | Não citada                                        | Modelos físicos                 |
| J. Chem. Educ. <b>2002</b> , 79, 1372 | Using Computer Graphics To Demonstrate The Origin And Applications Of The "Reacting Bond Rules"                                        | Tyler D R; Herrick D R                                                                           | EUA                             | Recurso didático | upper-division undergraduate; physical chemistry; computer bulletin board; computer-based learning; computational chemistry                       | reações                                          | Não citada                              | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2002</b> , 79, 1379 | Webware For Classroom, Computer Room, Student'S Room                                                                                   | Hanson R M                                                                                       | EUA                             | Recurso didático | upper-division undergraduate; physical chemistry; JCE WebWare; internet/web-based learning; MO theory                                             | cinética                                         | Não citada                              | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2003</b> , 80, 709  | General Chemistry Collection, 7Th Edition                                                                                              | Papadopoulos N; Limniou M                                                                        | Grécia                          | Recurso didático | high school/introductory chemistry; analytical chemistry; JCE software; computer-based learning; acids/bases                                      | titulação                                        | Não citada                              | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2003</b> , 80, 1222 | 3Dnormalmodes                                                                                                                          | Sigalas M P; Charistos N D; Teberikidis V I; Tsipis C A;                                         | Grécia                          | Recurso didático | second-year undergraduate; JCE software; computer-based learning; IR spectroscopy                                                                 | espectroscopia                                   | Não citada                              | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2003</b> , 80, 582  | Web-Based Computations And Animations                                                                                                  | Borkent H; Rooij J; Stueker O; Brunberg I; Fels G                                                | Holanda                         | Recurso didático | second-year undergraduate; organic chemistry; JCE WebWare; web-based learning aids; internet/web-based learning; computational chemistry          | vários                                           | Não citada                              | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2003</b> , 80, 346  | Learning In Chemistry With Virtual Laboratories                                                                                        | Martínez-Jiménez P; Pontes-Pedrajas A; Polo J; Climent-Bellido M S                               | Espanha                         | Investigação     | first-year undergraduate/general; chemical education research; teaching with technology; computer-based learning; laboratory computing/interfaces | Trabalho em laboratório, separação de misturas   | Questionários: quantitativo, Relatórios | Trabalho em grupo, Trabalho em laboratório        | Interativo                      |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                  | Título                                                                                                                | Autores                                 | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                                  | Conceitos (até 2)           | Metodologia de pesquisa (até 4)          | Metodologia usada no contexto educacional (até 5) | Meio suporte didático 1 (até 3)                  |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| J. Chem. Educ. <b>2003</b> , 80, 109  | Modeling A Boltzmann Distribution: Simbo (Simulated Boltzmann, A Computer Laboratory Exercise                         | Lyubartsev A P; Heald E F; York R W     | Suécia                          | Recurso didático | upper-division undergraduate; physical chemistry; JCE software; computer-based learning; laboratory computing/interfacing                                       | termodinâmica               | Não citada                               | Não citada                                        | Interativo                                       |
| J. Chem. Educ. <b>2003</b> , 80, 157  | Paper-And-Glue Unit Cell Models                                                                                       | Birk J P; Yezierski E J; Laing M        | EUA                             | Metodologia      | high school/introductory chemistry; demonstrations; tested demonstrations; solid state chemistry                                                                | estrutura molecular         | Não citada                               | Trabalho em grupo                                 | Modelos físicos                                  |
| J. Chem. Educ. <b>2003</b> , 80, 1425 | Thermodynamics For Visual Learners                                                                                    | Hamilton T M                            | EUA                             | Recurso didático | upper-division undergraduate; physical chemistry; thermodynamics                                                                                                | termodinâmica               | Não citada                               | Não citada                                        | Ilustração eletrônica                            |
| J. Chem. Educ. <b>2004</b> , 81, 1322 | Teaching Ionic Solvation Structure With A Monte Carlo Liquid Simulation Program                                       | Serrano A; Santos F M T; Greca I M      | Brasil                          | Metodologia      | upper-division undergraduate; physical chemistry; computer-based learning; mathematics/symbolic mathematics                                                     | interações intermoleculares | Não citada                               | Não citada                                        | Interativo                                       |
| J. Chem. Educ. <b>2004</b> , 81, 587  | The Effective Use Of An Interactive Software Program To Reduce Students' Misconceptions About Batteries               | Yang E M; Greenbowe T J; Andre T        | EUA                             | Investigação     | high school/introductory chemistry; chemical education research; teaching with technology; computer-based learning; electrochemistry                            | eletroquímica               | Questionários: quantitativo, Vídeo/Audio | Aula expositiva, Trabalho em grupo                | Interativo                                       |
| J. Chem. Educ. <b>2004</b> , 81, 818  | Visualizing Bent Bonds In Cyclopropane                                                                                | Bertolini T M                           | EUA                             | Recurso didático | high school/introductory chemistry; demonstrations; overhOutros projector demonstrations; molecular modeling                                                    | ligação química             | Não citada                               | Não citada                                        | Modelos físicos                                  |
| J. Chem. Educ. <b>2004</b> , 81, 1136 | Exploring Organic Mechanistic Puzzles With Molecular Modeling                                                         | Horowitz G; Schwartz G                  | EUA                             | Metodologia      | second-year undergraduate; organic chemistry; molecular modeling exercises and experiments; collaborative/co-operative learning; molecular properties/structure | reações                     | Não citada                               | Trabalho em grupo                                 | Interativo                                       |
| J. Chem. Educ. <b>2004</b> , 81, 1431 | Introducing Molecular Visualization To Primary Schools In California: The Start! Teaching Science Through Art Program | Halpine S M                             | EUA                             | Metodologia      | elementary/middle school science; chemistry for kids; computer-based learning; bioinorganic chemistry                                                           | estrutura molecular         | Desenho, Questionários: quantitativo     | Outros, Grupo de discussão                        | Interativo, Modelos físicos, Ilustração em papel |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 73   | A Set Of Hands-On Exercises On Conformational Analysis                                                                | Pellegrinet S C; Mata E G               | Argentina                       | Metodologia      | first-year undergraduate/general; organic chemistry; collaborative/co-operative learning; alkanes/cycloalkanes                                                  | análise conformacional      | Não citada                               | Trabalho em grupo, Grupo de discussão             | Modelos físicos                                  |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 1800 | A New Exploration Of The Torsional Energy Surface Of N-Pentane Using Molecular Models And Molecular Modeling Software | Galembeck S E; Caramori G F; Romero J R | Brasil                          | Metodologia      | upper-division undergraduate; physical chemistry; computer-based learning; computational chemistry                                                              | análise conformacional      | Não citada                               | Não citada                                        | Interativo, Modelos físicos,                     |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 1805 | Analyzing The 3D Structure Of Human Carbonic Anhydrase Ii And Its Mutants Using Deep View And The Protein Data Bank   | Ship N J; Zamble D B                    | Canadá                          | Metodologia      | upper-division undergraduate; biochemistry; molecular modeling exercises and experiments; computer-based learning; molecular modeling                           | proteínas                   | Seminários, Relatórios                   | Trabalho individual                               | Interativo                                       |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                  | Título                                                                                                                  | Autores                                                         | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                | Conceitos (até 2)           | Metodologia de pesquisa (até 4)                     | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)        | Meio suporte didático 1 (até 3)      |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 1741 | Teaching Molecular Symmetry With Jce Webware                                                                            | Charistos N D; Tsipis C A; Sigalas M P                          | Grécia                          | Recurso didático | first-year undergraduate/general; chemoinformatics; JCE WebWare: web-based learning aids; computer-based learning; group theory/symmetry      | simetria                    | Não citada                                          | Não citada                                               | Interativo                           |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 1021 | Computer Modeling And Research In The Classroom                                                                         | Ramos M J; Fernandes P A                                        | Portugal                        | Metodologia      | upper-division undergraduate; computer-based learning; computational chemistry                                                                | estrutura molecular         | Relatório                                           | Aula expositiva, Trabalho em grupo                       | Interativo                           |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 79   | A 3D Model Of Double-Helical Dna Showing Variable Chemical Details                                                      | Cady S G                                                        | EUA                             | Recurso didático | high school/introductory chemistry; biochemistry; hands-on learning/manipulatives; biotechnology                                              | ácidos nucleicos            | Não citada                                          | Não citada                                               | Modelos físicos                      |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 401  | Simple Dynamic Models For Hydrogen Bonding Using Velcro-Polarized Molecular Models                                      | Schultz E                                                       | EUA                             | Recurso didático | high school/introductory chemistry; demonstrations; molecular properties/structure                                                            | interações intermoleculares | Não citada                                          | Não citada                                               | Modelos físicos                      |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 937  | Molecular Visualization In Science Education: An Evaluation Of An Nsf-Sponsored Workshop                                | José T J; Williamson V M                                        | EUA                             | Investigação     | first-year undergraduate/general; curriculum; chemical education research; conferences                                                        | Outros                      | Likert, Pré/Pós-testes, Questionários: quantitativo | Outros                                                   | Outros                               |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 1009 | Chirality Made Simple: A 1- And 2-Dimensional Introduction To Stereochemistry                                           | Gawley R E                                                      | EUA                             | Recurso didático | second-year undergraduate; organic chemistry; analogies/transfer; chirality/optical activity                                                  | simetria                    | Não citada                                          | Não citada                                               | Modelos físicos, Ilustração em papel |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 1251 | Assessing The Effect Of Web-Based Learning Tools On Student Understanding Of Stoichiometry Using Knowledge Space Theory | Arasasingham R D; Taagepera M; Potter F; Martorell I; Lonjers S | EUA                             | Investigação     | first-year undergraduate/general; chemical education research; teaching with technology; computer-based learning; stoichiometry               | estequiometria              | Questionários: quantitativo, Likert                 | Aula expositiva, Grupo de discussão, Trabalho individual | Interativo                           |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 1513 | Techniques To Enhance Instructors' Teaching Effectiveness With Chemistry Students Who Are Blind Or Visually Impaired    | Supalo C                                                        | EUA                             | Recurso didático | first-year undergraduate/general; laboratory instruction; testing/assessment; enrichment/review materials                                     | Outros                      | Outros                                              | Outros                                                   | Outros                               |
| J. Chem. Educ. <b>2005</b> , 82, 1736 | The Use Of The Free, Open-Source Program Jmol To Generate An Interactive Web Site To Teach Molecular Symmetry           | Cass M E; Rzepa H S; Rzepa D R; Williams C K                    | EUA                             | Recurso didático | first-year undergraduate/general; physical chemistry; internet/web-based learning; group theory/symmetry                                      | simetria                    | Não citada                                          | Não citada                                               | Interativo                           |
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 1567 | A Gel Permeation Chromatography Simulator From Jce Webware                                                              | Marson G A; Torres B B                                          | Brasil                          | Metodologia      | second-year undergraduate/general second-year undergraduate; biochemistry; chromatography; computer-based learning; multimedia-based learning | cromatografia               | Não citada                                          | Trabalho em grupo                                        | Interativo                           |
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 1353 | Teaching Physical Chemistry Experiments With A Computer Simulation By Labview                                           | Belletti A; Borromei R; Ingletto G                              | Itália                          | Recurso didático | first-year undergraduate/general; physical chemistry; computer-based learning; equilibrium                                                    | equilíbrio                  | Não citada                                          | Trabalho em laboratório                                  | Interativo                           |
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 481  | Computational Quantum Chemistry: A Reliable Tool In The Understanding Of Gas-Phase Reactions                            | Galano A; Alvarez-Idaboy J R; Vivier-Bunge A                    | México                          | Recurso didático | graduate education/research; physical chemistry; research: science and education; computer-based learning; applications of chemistry          | reações                     | Não citada                                          | Não citada                                               | Interativo                           |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                  | Título                                                                                                                                                       | Autores                                                                     | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                                 | Conceitos (até 2)               | Metodologia de pesquisa (até 4)          | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)        | Meio suporte didático 1 (até 3) |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------|
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 170  | Using Computer Simulations To Teach Salt Solubility                                                                                                          | Gil V M S; Paiva J C M                                                      | Portugal                        | Recurso didático | high school/introductory chemistry; physical chemistry; computational chemistry                                                                                | termodinâmica                   | Não citada                               | Não citada                                               | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 1319 | A Unique Demonstration Model Of Dna                                                                                                                          | Cox J P L                                                                   | Reino Unido                     | Recurso didático | elementary/middle school science; biochemistry; hands-on learning/manipulatives; molecular biology                                                             | ácidos nucleicos                | Não citada                               | Não citada                                               | Modelos físicos                 |
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 77   | Molecular Dynamics Simulations Of Chemical Reactions For Use In Education                                                                                    | Xie Q; Tinker R                                                             | EUA                             | Recurso didático | upper-division undergraduate; chemical education research; molecular modeling exercises and experiments; computer-based learning; molecular mechanics/dynamics | cinética                        | Não citada                               | Não citada                                               | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 336  | Using Jmol To Help Students Better Understand Fluxional Processes                                                                                            | Cass M E; Rzepa H S                                                         | EUA                             | Recurso didático | first-year undergraduate/general; inorganic chemistry; JCE WebWare; web-based learning aids; internet/web-based learning; computational chemistry              | reações                         | Não citada                               | Não citada                                               | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 954  | Misconceptions About The Particulate Nature Of Matter: Using Animations To Close The Gender Gap                                                              | Yezierski E J; Birk J P                                                     | EUA                             | Investigação     | elementary/middle school science; chemical education research; constructivism; learning theories                                                               | Natureza particular da matéria  | Pré/Pós-testes, Entrevistas, Vídeo/Audio | Grupo de discussão, Trabalho individual, Aula expositiva | Animação                        |
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 1182 | A Laboratory Experiment Using Molecular Models For An Introductory Chemistry Class                                                                           | Ghaffari S                                                                  | EUA                             | Metodologia      | high school/introductory chemistry; demonstrations; hands-on learning/manipulatives; molecular modeling                                                        | vários                          | Não citada                               | Trabalho em grupo, Trabalho em laboratório               | Modelos físicos                 |
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 1317 | Classifying Matter: A Physical Model Using Paper Clips                                                                                                       | Blake B; Hogue L; Sarquis J L                                               | EUA                             | Recurso didático | elementary/middle school science; curriculum; analogies/transfer; molecular properties/structure                                                               | substâncias simples e compostas | Não citada                               | Trabalho em grupo                                        | Modelos físicos                 |
| J. Chem. Educ. <b>2006</b> , 83, 1322 | Using Physical Models Of Biomolecular Structures To Teach Concepts Of Biochemical Structure And Structure Depiction In The Introductory Chemistry Laboratory | Bain G A; Yi J; Beikmohamadi M; Herman T M; Patrick M A                     | EUA                             | Metodologia      | high school/introductory chemistry; biochemistry; hands-on learning/manipulatives; amino acids                                                                 | ácidos nucleicos, proteínas     | Pré/Pós-testes                           | Trabalho em grupo, Aula expositiva                       | Modelos físicos, Interativo     |
| J. Chem. Educ. <b>2007</b> , 84, 1866 | Biochemical View: A Web Site Providing Material For Teaching Biochemistry Using Multiple Approaches                                                          | Dórea F C; Rodrigues H S; Lapouble O M M; Pereira M R; Castro M S; Fontes W | Brasil                          | Investigação     | continuing education; biochemistry; computer-based learning; amino acids                                                                                       | vias metabólicas                | Questionários: quantitativo, Likert      | Aula expositiva                                          | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2007</b> , 84, 979  | Receptor Surface Models In The Classroom: Introducing Molecular Modeling To Students In A 3-D World                                                          | Geldenhuys W J; Hayes M; Van Der Schyf C J; Allen D D; Malan S F            | EUA                             | Metodologia      | first-year undergraduate/general; biochemistry; computer-based learning; bioorganic chemistry                                                                  | interação estérica              | Likert                                   | Não citada                                               | Interativo, Modelos físicos     |
| J. Chem. Educ. <b>2007</b> , 84, 1551 | An Interactive Computer Program To Help Students Learn Molecular Symmetry Elements And Operations                                                            | Meyer D E; Sargent A L                                                      | EUA                             | Recurso didático | upper-division undergraduate; inorganic chemistry; JCE WebWare; web-based learning aids; computer-based learning; group theory symmetry                        | simetria                        | Não citada                               | Não citada                                               | Interativo                      |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                  | Título                                                                                                                                 | Autores                                 | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                      | Conceitos (até 2)           | Metodologia de pesquisa (até 4)     | Metodologia usada no contexto educacional (até 5) | Meio suporte didático 1 (até 3) |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|
| J. Chem. Educ. <b>2007</b> , 84, 1776 | Visualizing The Transition State: A Hands-On Approach To The Arrhenius Equation                                                        | Kuntzleman T S; Swanson M S; Sayers D K | EUA                             | Metodologia      | first-year undergraduate/general; laboratory instruction; applications and analogies; analogies/transfer; kinetics                                  | cinética                    | Não citada                          | Trabalho em grupo                                 | Outros                          |
| J. Chem. Educ. <b>2007</b> , 84, 1945 | Predicting The Shifts Of Absorption Maxima Of Azulene Derivatives Using Molecular Modeling And Zindo Ci Calculations Of Uv-Vis Spectra | Patalinghug W C; Chang M; Solis J       | EUA                             | Recurso didático | upper-division undergraduate; laboratory instruction; molecular modeling exercises and experiments; analogies/transfers; aromatic compounds         | espectroscopia              | Não citada                          | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2008</b> , 85, 444  | Constructing Ih Symmetrical Fullerenes From Pentagons                                                                                  | Gan L H                                 | China                           | Recurso didático | upper-division undergraduate; physical chemistry; computer-based learning; carbon                                                                   | simetria                    | Não citada                          | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2008</b> , 85, 240  | Using Tactile Learning Aids For Students With Visual Impairments In A First-Semester Organic Chemistry Course                          | Poon T; Ovadia R                        | EUA                             | Metodologia      | second-year undergraduate; organic chemistry; hands-on learning/manipulatives; molecular modeling                                                   | vários                      | Desenho, Questionários: qualitativo | Trabalho individual                               | Modelos físicos                 |
| J. Chem. Educ. <b>2008</b> , 85, 303  | Investigating Students' Ability To Transfer Ideas Learned From Molecular Animations Of The Dissolution Process                         | Kelly R M; Jones L L                    | EUA                             | Investigação     | first-year undergraduate/general; chemical education research; computer-based learning; aqueous solution chemistry                                  | reações                     | Desenho, Entrevistas, Vídeo/Áudio   | Trabalho individual                               | Animação                        |
| J. Chem. Educ. <b>2008</b> , 85, 718  | The Effects Of A Two-Year Molecular Visualization Experience On Teachers' Attitudes, Content Knowledge, And Spatial Ability            | Williamson V M; José T J                | EUA                             | Investigação     | first-year undergraduate/general; chemical education research; constructivism; molecular modeling                                                   | Não especificado            | Likert, Pré/Pós-testes              | Trabalho em grupo, Outros                         | Interativo, Animação            |
| J. Chem. Educ. <b>2008</b> , 85, 822  | Exploring Solid-State Structure And Physical Properties: A Molecular And Crystal Model Exercise                                        | Bindel T H                              | EUA                             | Metodologia      | first-year undergraduate/general; inorganic chemistry; hands-on learning/manipulatives; crystals/crystallography                                    | simetria                    | Não citada                          | Trabalho em grupo, Trabalho em laboratório        | Modelos físicos                 |
| J. Chem. Educ. <b>2008</b> , 85, 1071 | Using Molecular Dynamics Simulation To Reinforce Student Understanding Of Intermolecular Forces                                        | Burkholder P R; Purser G H; Cole R S    | EUA                             | Metodologia      | first-year undergraduate/general; curriculum; molecular modeling exercises and experiments; computer-based learning; computational chemistry        | interações intermoleculares | Não citada                          | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2009</b> , 86, 477  | Conformational Analysis Of Drug Molecules: A Practical Exercise In The Medicinal Chemistry Course                                      | Yuriev E; Chalmers D; Capuano D         | Austrália                       | Recurso didático | second-year undergraduate; biochemistry; molecular modeling exercises and experiments; computer-based learning; computational chemistry             | análise conformacional      | Não citada                          | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2009</b> , 86, 19   | Board-Game Gel Filtration And Affinity Chromatography                                                                                  | Hunt E A; Deo S K                       | EUA                             | Recurso didático | first-year undergraduate/general; analytical chemistry; classroom activity connections; collaborative/cooperative learning; bioanalytical chemistry | cromatografia               | Não citada                          | Não citada                                        | Ilustração em papel             |
| J. Chem. Educ. <b>2009</b> , 86, 254  | Visualization Tools For Organic Chemistry                                                                                              | Musyka J L                              | EUA                             | Recurso didático | second-year undergraduate; organic chemistry; JCE: WebWare: web-based learning aids; Internet/web-based learning; alkanes/cycloalkanes              | vários                      | Não citada                          | Não citada                                        | Interativo                      |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                  | Título                                                                                                                                                                   | Autores                                                                     | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                                                                                                                                      | Conceitos (até 2)   | Metodologia de pesquisa (até 4)                      | Metodologia usada no contexto educacional (até 5) | Meio suporte didático 1 (até 3) |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|
| J. Chem. Educ. <b>2009</b> , 86, 450  | Enthalpy Costs Of Making And Breaking Bonds: A Game Of Generating Molecules With Proper Lewis Structures                                                                 | Bell P T; Adkins A D; Gamble R J; Schultz L D                               | EUA                             | Recurso didático | first-year undergraduate/general; organic chemistry; humor/puzzles/game; calorimetry/thermochemistry                                                                                                                                                                | ligação química     | Questionários: quantitativo                          | Trabalho em grupo                                 | Ilustração em papel             |
| J. Chem. Educ. <b>2009</b> , 86, 460  | Using The Cambridge Structural Database To Teach Molecular Geometry Concepts In Organic Chemistry                                                                        | Wackerly J W; Janowicz P A; Ritchey J A; Caruso M M; Elliott E L; Moore J S | EUA                             | Metodologia      | second-year undergraduate; organic chemistry; teaching with technology; computer-based learning; atomic properties/structure                                                                                                                                        | estrutura molecular | Likert, Pré/Pós-testes                               | Trabalho individual                               | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2009</b> , 86, 1442 | Kinetic Versus Static Visuals For Facilitating College Students' Understanding Of Organic Reaction Mechanisms In Chemistry                                               | Aldahmash A H; Abraham M R                                                  | Yemen                           | Investigação     | second-year undergraduate; chemical education research; reasearch: science and education; multimedia-based learning; learning theories                                                                                                                              | reações             | Pré/Pós-testes, Questionários: quantitativo, Desenho | Aula expositiva, Trabalho individual              | Animação, Ilustração eletrônica |
| J. Chem. Educ. <b>2010</b> , 87, 406  | Where'S Ester? A Game That Seeks The Structures Hiding Behind The Trivial Names                                                                                          | Angelin M; Ramström O                                                       | Suécia                          | Recurso didático | first-year undergraduate/general; general public; high school/introductory chemistry; second-year undergraduate; upper-division undergraduate; biochemistry; organic chemistry; humor/puzzles/games; amino acids; drugs/pharmaceuticals; nomenclature/units/symbols | nomenclatura        | Não citada                                           | Trabalho em grupo                                 | Ilustração em papel             |
| J. Chem. Educ. <b>2010</b> , 87, 809  | Teaching Three-Dimensional Structural Chemistry Using Crystal Structure Databases. I. An Interactive Web-Accessible Teaching Subset Of The Cambridge Structural Database | Battle G M; Allen F H; Ferrence G M                                         | Reino Unido                     | Recurso didático | second-year undergraduate; upper-division undergraduate; chemoinformatics; internet/web-based learning                                                                                                                                                              | estrutura molecular | Não citada                                           | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2010</b> , 87, 819  | A Pictorial Visualization Of Normal Mode Vibrations Of The Fullerene (C60 Molecule In Terms Of Vibrations Of A Hollow Sphere                                             | Dunn J L                                                                    | Reino Unido                     | Recurso didático | upper-division undergraduate; graduate education/research; chemoinformatics; computer-based learning; group theory/symmetry; theoretical chemistry                                                                                                                  | simetria            | Não citada                                           | Não citada                                        | Interativo                      |
| J. Chem. Educ. <b>2010</b> , 87, 291  | Use Of Molecular Models For Active Learning In Biochemistry Lecture Courses                                                                                              | Hageman J H                                                                 | EUA                             | Recurso didático | upper-division undergraduate; biochemistry; organic chemistry; analogies/transfer; collaborative/co-operative learning; hands-on learning/manipulatives                                                                                                             | estrutura molecular | Não citada                                           | Trabalho em grupo, Grupo de discussão             | Modelos físicos                 |
| J. Chem. Educ. <b>2010</b> , 87, 294  | A Hands-On Classroom Simulation To Demonstrate Concepts In Enzyme Kinetics                                                                                               | Junker M                                                                    | EUA                             | Metodologia      | second-year undergraduate; upper-division undergraduate; biochemistry; analogies/transfer; hands-on learning/manipulatives; catalysis; enzymes; kinetics; mechanism of reactions                                                                                    | cinética            | Não citada                                           | Trabalho em grupo, Grupo de discussão             | Outros                          |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                      | Título                                                                                                                                                                          | Autores                                               | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                                                                                                                                                     | Conceitos (até 2)                        | Metodologia de pesquisa (até 4)                          | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)                                         | Meio suporte didático 1 (até 3)                    |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| J. Chem. Educ. <b>2010</b> , 87, 827      | Dynamic Paper Constructions For Easier Visualization Of Molecular Symmetry                                                                                                      | Sein Jr L T                                           | EUA                             | Recurso didático | upper-division undergraduate; inorganic chemistry; laboratory instruction; physical chemistry; hands-on learning/ manipulatives; group theory/symmetry; molecular properties/structure                                                                                             | simetria                                 | Não citada                                               | Não citada                                                                                | Modelos físicos                                    |
| J. Chem. Educ. <b>2010</b> , 87, 924      | Articulate Pictures And Kinetic-Molecular Theory Concepts: Seizing An Opportunity                                                                                               | Waner M J                                             | EUA                             | Recurso didático | elementary/middle school science; high school/introductory chemistry; first-year undergraduate/general; upper-division undergraduate; physical chemistry; chemical education research; gases; kinetic-molecular theory                                                             | Natureza particular da matéria, cinética | Não citada                                               | Não citada                                                                                | Ilustração em papel                                |
| J. Chem. Educ. <b>2010</b> , 87, 1024     | Fusion Science Theater Presents The Amazing Chemical Circus: A New Model Of Outreach That Uses Theater To Engage Children In Learning                                           | Kerby H W; Cantor J; Weiland M; Barbarez C; Kerby A W | EUA                             | Metodologia      | first-year undergraduate/general; general public; elementary/middle school science; interdisciplinary/multidisciplinary; demonstrations; public understanding/outreach; testing/assessment; inquiry-based/discovery learning; applications of chemistry; student-centered learning | vários                                   | Likert, Pré/Pós-testes, Desenho                          | Outros                                                                                    | Outros                                             |
| J. Res. Sci. Teach. <b>2001</b> , 38, 821 | Promoting Understanding Of Chemical Representations: Students' Use Of A Visualization Tool In The Classroom                                                                     | Wu H K; Krajcik J S; Soloway E                        | EUA                             | Metodologia      | Não citadas                                                                                                                                                                                                                                                                        | vários                                   | Pré/Pós Testes, Entrevistas, Vídeo/Áudio                 | Aula expositiva, Trabalho em grupo, Grupo de discussão                                    | Interativo, Modelos físicos, Ilustração eletrônica |
| J. Res. Sci. Teach. <b>2004</b> , 41, 317 | Effectiveness Of Multimedia-Based Instruction That Emphasizes Molecular Representations On Students' Understanding Of Chemical Change                                           | Ardac C; Akaygun S                                    | Turquia                         | Investigação     | Não citadas                                                                                                                                                                                                                                                                        | reações, Natureza particular da matéria  | Pré/Pós-testes, Entrevistas, Desenho                     | Aula expositiva, Trabalho em laboratório, Trabalho individual                             | Interativo                                         |
| J. Res. Sci. Teach. <b>2006</b> , 43, 500 | Effect Of Bead And Illustrations Models On High School Students' Achievement In Molecular Genetics                                                                              | Rotbain Y; Marbach-Ad G; Stavy R                      | Israel                          | Investigação     | Não citadas                                                                                                                                                                                                                                                                        | ácidos nucleicos                         | Pré/Pós-testes, Questionários: quantitativo, Entrevistas | Aula expositiva, Trabalho individual, Trabalho em grupo, Grupo de discussão               | Modelos físicos, Ilustração em papel               |
| J. Res. Sci. Teach. <b>2008</b> , 45, 219 | Chemical Understanding And Graphing Skills In An Honors Case-Based Computerized Chemistry Laboratory Environment: The Value Of Bidirectional Visual And Textual Representations | Dori Y J; Sasson I                                    | Israel                          | Investigação     | chemistry; laboratory science; secondary; achievement; classroom research                                                                                                                                                                                                          | vários                                   | Questionários: qualitativo, Questionários: quantitativo  | Outros, Aula expositiva, Trabalho em laboratório, Grupo de discussão, Trabalho individual | Interativo, Ilustração eletrônica                  |
| J. Res. Sci. Teach. <b>2008</b> , 45, 273 | Using Computer Animation And Illustration Activities To Improve High School Students' Achievement In Molecular Genetics                                                         | Marbach-Ad G; Rotbain Y; Stavy R                      | Israel                          | Investigação     | biology; achievement; attitudes                                                                                                                                                                                                                                                    | ácidos nucleicos                         | Pré/Pós-testes, Questionários: quantitativo, Entrevistas | Aula expositiva, Trabalho individual, Grupo de discussão                                  | Interativo, Ilustração em papel                    |
| J. Res. Sci. Teach. <b>2009</b> , 46, 289 | Enhancing Students' Understanding Of The Concept Of Chemical Bonding By Using Activities Provided On An Interactive Website                                                     | Frailich M; Kesner M; Hofstein A                      | Israel                          | Investigação     | chemistry; technology education/software design; secondary                                                                                                                                                                                                                         | ligação química                          | Questionários: quantitativo, Entrevistas, Vídeo/Áudio    | Aula expositiva, Trabalho em grupo, Grupo de discussão                                    | Interativo                                         |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                         | Título                                                                                                           | Autores                                                                       | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                                                              | Conceitos (até 2)              | Metodologia de pesquisa (até 4)                                   | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)                           | Meio suporte didático 1 (até 3)                    |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| J. Res. Sci. Teach. <b>2010</b> , 47, 91     | Bridging Scientific Reasoning And Conceptual Change Through Adaptive Web-Based Learning                          | She H C; Liao Y W                                                             | Taiwan                          | Investigação     | chemistry; conceptual change; technology education ; middle school science                                                                                  | estrutura atômica              | Pré/Pós-testes, Entrevistas, Vídeo/Áudio                          | Trabalho individual                                                         | Interativo, Ilustração eletrônica                  |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2003</b> , 12, 277 | Common Molecules: Bringing Research And Teaching Together Through An Online Collection                           | Sandvoss L M; Harwood W S; Korkmaz A; Bollinger J C; Huffman J C; Huffman J N | EUA                             | Recurso didático | common molecules; chemistry education; visualization; digital library; crystal structures                                                                   | estrutura molecular            | Não citada                                                        | Não citada                                                                  | Interativo                                         |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2003</b> , 12, 285 | Connected Chemistry—Incorporating Interactive Simulations Into The Chemistry Classroom                           | Stieff M; Wilensky U                                                          | EUA                             | Metodologia      | chemistry education; modeling environments; scientific visualization                                                                                        | equilíbrio                     | Entrevistas, Questionários: qualitativo                           | Trabalho individual                                                         | Interativo                                         |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2004</b> , 13, 51  | Reasoning With Atomic-Scale Molecular Dynamic Models                                                             | Pallant A; Tinker R F                                                         | EUA                             | Metodologia      | models; phases of matter; thermodynamics; molecular dynamics                                                                                                | Natureza particular da matéria | Questionários: quantitativo, Entrevistas, Desenho                 | Trabalho em grupo                                                           | Interativo                                         |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2004</b> , 13, 243 | Web-Supported Chemistry Education: Design Of An Online Tutorial For Learning Molecular Symmetry                  | Korkmaz A; Harwood W S                                                        | EUA                             | Recurso didático | 3-D; symmetry; interactivity; molecular structure; inorganic chemistry                                                                                      | simetria                       | Entrevistas, Pré/Pós-testes, Vídeo/Áudio                          | Trabalho individual                                                         | Interativo, Modelos físicos, Ilustração em papel   |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2004</b> , 13, 315 | The Use Of Video Demonstrations And Particulate Animation In General Chemistry                                   | Velázquez-Marciano A; Williamson V M; Ashkenazi G; Tasker R; Williamson K C   | EUA                             | Investigação     | chemical education research; particulate nature of matter; computer-based instruction; demonstrations; internet/web-based materials; teaching/learning aids | difusão/efusão                 | Pré/Pós-testes                                                    | Trabalho individual                                                         | Animação                                           |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2004</b> , 13, 361 | Instructional Technology And Molecular Visualization                                                             | Appling J R; Peake L C                                                        | EUA                             | Metodologia      | multimedia; chemistry; model-building                                                                                                                       | estrutura molecular            | Pré/Pós-testes                                                    | Trabalho individual                                                         | Interativo, Modelos físicos                        |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2004</b> , 13, 461 | Students' Understanding Is Enhanced Through Molecular Modeling                                                   | Ealy J B                                                                      | EUA                             | Investigação     | molecular modeling; multimedia learning; microscopic                                                                                                        | vários                         | Pré/Pós-testes                                                    | Aula expositiva, Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Trabalho individual | Interativo, Modelos físicos, Ilustração eletrônica |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2005</b> , 14, 51  | The Effect Of Instructional Modality And Prior Knowledge On Learning Point Group Symmetry                        | Nottis K E K; Kastner M E                                                     | EUA                             | Investigação     | chemistry education; point group symmetry; computer courseware; prior knowledge                                                                             | simetria                       | Questionários: quantitativo, Pré/Pós-testes, Vídeo/Áudio, Desenho | Aula expositiva, Trabalho em grupo, Trabalho individual                     | Interativo, Modelos físicos, Ilustração em papel   |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2007</b> , 16, 413 | Exploring How Different Features Of Animations Of Sodium Chloride Dissolution Affect Students' Explanations      | Kelly R M; Jones L L                                                          | EUA                             | Metodologia      | NaCl dissolution; animations; written, oral and drawn explanations; misconceptions                                                                          | interações intermoleculares    | Vídeo/Áudio, Entrevistas, Questionários: qualitativo              | Trabalho em grupo, Grupo de discussão, Trabalho individual                  | Animação                                           |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2008</b> , 17, 49  | Using A Computer Animation To Teach High School Molecular Biology                                                | Rotbain Y; Marbach-Ad G; Stavy R                                              | Israel                          | Investigação     | computer animation; molecular genetics; secondary science; nucleic acid                                                                                     | ácidos nucleicos               | Pré/Pós-testes, Entrevistas, Desenho                              | Aula expositiva, Trabalho individual, Grupo de discussão                    | Interativo                                         |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2008</b> , 17, 466 | The Impact Of Learner'S Prior Knowledge On Their Use Of Chemistry Computer Simulations: A Case Study             | Liu H C; Andre T; Greenbowe T J                                               | Taiwan                          | Investigação     | chemical education; science education; computer simulation; computer-supported learning                                                                     | eletroquímica                  | Vídeo/Áudio, Pré/Pós-testes, Questionários: qualitativo           | Outros, Grupo de discussão, Trabalho em grupo                               | Interativo                                         |
| J. Sci. Educ. Technol. <b>2008</b> , 17, 305 | The Effect Of A Computerized Simulation On Middle School Students' Understanding Of The Kinetic Molecular Theory | Stern L; Barnea N; Shauli S                                                   | EUA                             | Investigação     | dynamic simulation; kinetic molecular theory; middle school; teaching strategies; curricular intervention; particles; microscopic view                      | Natureza particular da matéria | Questionários: quantitativo, Entrevistas, Desenho                 | Aula expositiva, Trabalho individual                                        | Interativo                                         |
| PEC <b>2008</b> , 9, 17                      | Images And Computational Methods In Molecular Modeling Education                                                 | Arroio A; Honório K M                                                         | Brasil                          | Recurso didático | images; visualization; computational techniques; molecular modeling                                                                                         | orbital molecular, proteínas   | Não citada                                                        | Não citada                                                                  | Ilustração eletrônica                              |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.              | Título                                                                                                                       | Autores                                                            | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                               | Conceitos (até 2)              | Metodologia de pesquisa (até 4)                    | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)                                 | Meio suporte didático 1 (até 3)            |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| PEC 2009, 11, 69  | Teaching Protein Science With Application Of Computers – Case Study Of Bcl-2 Protein Family                                  | Kaczor A; Matosiuk D; Persona A                                    | Polônia                         | Metodologia      | protein science; proteins as drug targets; BCL-2 protein family                              | proteínas                      | Não citada                                         | Outros, Aula expositiva                                                           | Interativo                                 |
| PEC 2009, 16, 23  | Visualization InScience Education: The Results Of Pilot Research In Grade 10                                                 | Bilbokaite R                                                       | Lituânia                        | Investigação     | science education; visualization                                                             | Não especificado               | Pré/Pós-testes, Likert                             | Outros                                                                            | Ilustração em papel, Ilustração eletrônica |
| PEC 2009, 16, 48  | Teacher'S Education And The Use Of Visualizations In Chemistry Instruction                                                   | Ferreira C; Arroio A                                               | Brasil                          | Investigação     | visualization; chemistry instructing; teacher's formation                                    | Não especificado               | Questionários: qualitativo                         | Outros                                                                            | Outros                                     |
| PEC 2009, 16, 80  | Chemistry Teachers' And Student'S Perceptions Of Practical Work Through Different Ict Learning Environments                  | Perna J; Aksela M                                                  | Finlândia                       | Investigação     | chemistry teaching; information and communications technology; ICT; modeling; practical work | vários                         | Likert, Questionários: qualitativo, Pré/Pós-testes | Outros, Trabalho em grupo, Outros                                                 | Animação, Interativo                       |
| PEC 2010, 24, 19  | The Usage Of A Simulation To Study Intermolecular Forces: Some Findings                                                      | Ayres C; Ferreira C; Arroio A                                      | Brasil                          | Metodologia      | visualization; computer; simulation; chemistry                                               | interações intermoleculares    | Questionários: qualitativo, Desenho                | Trabalho em grupo                                                                 | Interativo                                 |
| PEC 2010, 24, 49  | Use Of Visualization To Motivate Science And Geography Education Of Female School-children                                   | Bilbokaite R                                                       | Lituânia                        | Investigação     | visualization; motivation; comprehensive school                                              | Não especificado               | Likert                                             | Outros                                                                            | Outros                                     |
| PEC 2010, 24, 75  | Metavirtualization: An Important Skill In The Learning Chemistry                                                             | Locatelli S; Ferreira C; Arroio A                                  | Brasil                          | Revisão          | metavirtualization; metacognition; visualization; chemistry instruction                      | Não especificado               | Outros                                             | Outros                                                                            | Outros                                     |
| QN 2004, 27, 489  | Ampc – Sinalização Intracelular: Um Software Educacional                                                                     | Yokaichiya D K; Fraceto L F; Miranda M A; Galembeck E; Torres B B  | Brasil                          | Metodologia      | AMPC; educational software; intracellular signaling                                          | sinalização celular            | Likert, Questionários: qualitativo                 | Outros, Trabalho em grupo                                                         | Interativo                                 |
| QN 2005, 28, 360  | O Ensino De Química Quântica E O Computador Na Perspectiva De Projetos                                                       | Arroio A; Honório K M; Weber K C; Mello P M; Silva A B F           | Brasil                          | Metodologia      | computer; projects; quantum chemistry teaching                                               | estrutura molecular            | Seminários, Questionários: qualitativo             | Outros, Trabalho em grupo, Aula expositiva                                        | Interativo                                 |
| QN 2007, 30, 727  | Reatividade Em Reações De Diels-Alder: Uma Prática Computacional                                                             | Lacerda Jr V; Oliveira K T; Silva R C Constantino M G; Silva G V J | Brasil                          | Recurso didático | Diels-Alder reactivity; FMO theory; NBO analysis                                             | reações                        | Não citada                                         | Aula expositiva, Trabalho em grupo                                                | Interativo                                 |
| QN 2008, 31, 2184 | Integración De Visualización Científica Molecular En El Salón De Clases                                                      | García-Ruiz M A; Valdez-Velasquez L L; Gómez-Sandoval Z            | México                          | Metodologia      | molecular; visualization; classroom                                                          | estrutura molecular            | Likert, Questionários: qualitativo                 | Outros, Trabalho em grupo                                                         | Interativo                                 |
| QNEC 2009, 31, 82 | Um Modelo Para O Estudo Do Fenômeno De Deposição Metálica E Conceitos Afins                                                  | Francisco Júnior W E; Ferreira L H; Hartwig D R                    | Brasil                          | Metodologia      | models; representation; metallic deposition                                                  | eletroquímica                  | Questionários: qualitativo                         | Trabalho individual                                                               | Modelos físicos                            |
| RBPEC 2003, 3, 58 | Uso Do Software Dicewin Na Química Geral (The Use Of The Dicewin Software In General Chemistry                               | Santos F M T; Greca I M; Serrano A                                 | Brasil                          | Metodologia      | simulation programs; general chemistry; intermolecular forces; chemistry representations     | interações intermoleculares    | Desenho                                            | Aula expositiva, Trabalho em grupo                                                | Interativo                                 |
| REEC 2005, 4      | Promovendo Aprendizagem De Conceitos E De Representações Pictóricas Em Química Com Uma Ferramenta De Simulação Computacional | Santos F M T; Greca I M                                            | Brasil                          | Investigação     | chemistry concepts; pictorial representations; simulations                                   | interações intermoleculares    | Desenho, Vídeo/Áudio                               | Trabalho individual, Aula expositiva                                              | Interativo                                 |
| REEC 2008, 7, 629 | Modelar La Naturaleza Discontinua De La Materia: Una Propuesta Para La Escuela Media                                         | Giudice J; Galagovsky L                                            | Argentina                       | Investigação     | teaching; learning; model; analogy; particulate nature of matter                             | Natureza particular da matéria | Desenho, Questionários: quantitativo               | Aula expositiva, Trabalho em laboratório, Trabalho individual, Grupo de discussão | Ilustração eletrônica                      |

**Tabela 1S.** Dados a partir dos quais se realizou o estudo (continuação)

| Ref.                                  | Título                                                                                                                                              | Autores                                       | País da instituição do 1º autor | Tipo de artigo   | Palavras-chave                                                                                                       | Conceitos (até 2)               | Metodologia de pesquisa (até 4)                          | Metodologia usada no contexto educacional (até 5)                           | Meio suporte didático 1 (até 3)                  |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| REEC <b>2009</b> , 8, 440             | Integración De Elementos Didácticos Y Del Diseño Em El Software Educativo Hipermedial “Estequiometría. Contando Masas, Moles Y Partículas”          | Grisolia M; Grisolia C V                      | Venezuela                       | Recurso didático | educational software; graphic design; stoichiometry; chemistry teaching and learning                                 | estequiometria                  | Entrevistas, Mapa conceitual                             | Grupo de discussão, Trabalho em grupo                                       | Interativo                                       |
| REEC <b>2010</b> , 9, 18              | Uso De Um Software De Construção De Modelos Moleculares No Ensino De Isomeria Geométrica: Um Estudo De Caso Baseado Na Teoria De Mediação Cognitiva | Raupp D; Serrano A; Martins T L C; Souza B C  | Brasil                          | Metodologia      | computer simulations; isomers; theories of cognition and learning; representations                                   | isomeria                        | Desenho, Questionários: quantitativo                     | Aula expositiva, Trabalho individual                                        | Interativo                                       |
| Res. Sci. Educ. <b>2004</b> , 34, 1   | Students' Understanding Of The Descriptive And Predictive Nature Of Teaching Models In Organic Chemistry                                            | Treagust D F; Chittleborough G D; Mamiala T L | Austrália                       | Metodologia      | mental models; organic chemistry; scientific models; teaching model; uppersecondary science                          | estrutura molecular             | Likert, Vídeo/Áudio, Entrevistas,                        | Aula expositiva, Trabalho em grupo, Grupo de discussão                      | Interativo, Modelos físicos, Ilustração em papel |
| Res. Sci. Educ. <b>2008</b> , 38, 463 | Correct Interpretation Of Chemical Diagrams Requires Transforming From One Level Of Representation To Another                                       | Chittleborough G; Treagust D                  | Austrália                       | Metodologia      | chemical diagrams; chemistry; representations; explanations; non-major; first-year university                        | vários                          | Questionários: quantitativo, Pré/Pós-testes, Entrevistas | Trabalho individual, Outros                                                 | Ilustração eletrônica, Ilustração eletrônica     |
| Res. Sci. Educ. <b>2009</b> , 39, 495 | The Effect Of Three-Dimensional Simulations On The Understanding Of Chemical Structures And Their Properties                                        | Urhahne D; Nick S; Schanze S                  | Alemanha                        | Investigação     | three dimensional simulations; information technology; conceptual knowledge; spatial ability; chemistry education    | estrutura molecular             | Likert, Pré/Pós-testes, Desenho                          | Trabalho individual, Trabalho em grupo                                      | Interativo, Ilustração eletrônica                |
| Res. Sci. Educ. <b>2010</b> , 40, 375 | Learning Using Dynamic And Static Visualizations: Students' Comprehension, Prior Knowledge And Conceptual Status Of A Biotechnological Method       | Yarden H; Yarden A                            | Israel                          | Investigação     | animations; biotechnology education; conceptual status; dynamic visualization; prior knowledge; static visualization | PCR,                            | Pré/Pós-testes, Questionários: quantitativo, Vídeo/Áudio | Aula expositiva, Trabalho individual, Trabalho em grupo, Grupo de discussão | Interativo, Ilustração eletrônica                |
| Sci. Edu. <b>2003</b> , 87, 794       | Linking Phenomena With Competing Underlying Models: A Software Tool For Introducing Students To The Particulate Model Of Matter                     | Snir J; Smith C L; Raz G                      | Israel                          | Investigação     | Não citadas                                                                                                          | Natureza particular da matéria, | Pré/Pós-testes, Entrevistas                              | Trabalho individual                                                         | Interativo                                       |
| Sci. Edu. <b>2004</b> , 88, 465       | Exploring Visuospatial Thinking In Chemistry Learning                                                                                               | Hu H K; Shah P                                | Taiwan                          | Revisão          | Não citadas                                                                                                          | Não especificado                | Outros                                                   | Outros                                                                      | Outros                                           |
| Sci. Edu. <b>2005</b> , 89, 117       | Enhancing Undergraduate Students' Chemistry Understanding Through Project-Based Learning In An It Environment                                       | Barak M; Dori Y J                             | EUA                             | Investigação     | Não citadas                                                                                                          | vários                          | Pré/Pós-testes, Likert, Entrevistas                      | Outros, Trabalho individual                                                 | Interativo                                       |
| Sci. Edu. <b>2006</b> , 90, 1073      | Visual Representations In Science Education: The Influence Of Prior Knowledge And Cognitive Load Theory On Instructional Design Principles          | Cook M P                                      | EUA                             | Revisão          | Não citadas                                                                                                          | Não especificado                | Outros                                                   | Outros                                                                      | Outros                                           |
| Sci. Edu. <b>2008</b> , 92, 848       | The Influence Of Prior Knowledge On Viewing And Interpreting Graphics With Macroscopic And Molecular Representations                                | Cook M; Wiebe E N; Carter G                   | EUA                             | Investigação     | Não citadas                                                                                                          | transporte celular              | Pré/Pós-testes, Entrevistas                              | Trabalho individual                                                         | Ilustração eletrônica                            |
| Sci. Edu. <b>2010</b> , 94, 73        | The Impact Of Designing And Evaluating Molecular Animations On How Well Middle School Students Understand The Particulate Nature Of Matter          | Chang H Y; Quintana C; Krajcik J S            | Taiwan                          | Investigação     | Não citadas                                                                                                          | Natureza particular da matéria  | Pré/Pós-testes, Questionários: quantitativo, Entrevistas | Trabalho individual                                                         | Interativo                                       |