

RESSONÂNCIA: DESENVOLVIMENTO, UTILIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SOFTWARE EDUCACIONAL**José Nunes da Silva Júnior*^a, Francisco Geraldo Barbosa^a, Antonio José Melo Leite Junior^b e Valeska Mesquita Eduardo^b**^aDepartamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, CP 6021, Campus do Pici, Bloco 940, Fortaleza – CE, Brasil^bInstituto UFC Virtual, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 901, Fortaleza – CE, Brasil

Recebido em 16/05/2013; aceito em 05/09/2013; publicado na web em 16/10/2013

RESONANCE: DEVELOPMENT, USE, AND EVALUATION OF AN EDUCATIONAL SOFTWARE. Resonance is a useful concept that shows how electrons are shared between two or more atoms and allows a prediction of the chemical reactivity and relative stability of reagents, intermediates, and products. An educational software that enables interactive exploration of the concepts related to resonance and thereby facilitates its understanding was developed. The software was field-tested, and an evaluation questionnaire concerning the software as an educational tool was answered by the students and professors involved in the test. The results led to the conclusion that the developed computer application can be characterized as an auxiliary tool that assists teachers in their lectures and students in their learning process.

Keywords: resonance; teaching; educational software.

INTRODUÇÃO

Os livros introdutórios de Química Orgânica utilizam as estruturas de Lewis para descrever as ligações covalentes. Todavia, as estruturas de Lewis individuais não são suficientes para representar algumas espécies (tais como: anéis benzênicos, grupo nitro e o íon carbonato), que são representadas por mais de uma estrutura de Lewis, e utilizadas para introduzir o conceito de ressonância.¹

Historicamente, o uso de estruturas múltiplas para representar compostos, com o que hoje chamamos de ligações deslocalizadas, foi introduzido de forma intuitiva, no início do século XX, na Alemanha por Arndt² e na Inglaterra por Ingold.³ Posteriormente, nos Estados Unidos, Pauling⁴ chegou a uma descrição similar, a partir de um ponto de partida diferente, em seu trabalho pioneiro de mecânica quântica aplicada à Química.

Embora os conceitos descrevessem uma simples substância através de múltiplas estruturas, termos diferentes foram utilizados pelos pesquisadores. Arndt preferiu o termo intermediário (do alemão *Zwischenstufe*) para a estrutura híbrida, enquanto Ingold optou por um termo equivalente - mesômero - para propor os termos efeito mesomérico e mesomeria. Por sua vez, Pauling preferiu utilizar o termo ressonância. Desde então, os livros didáticos e artigos vêm utilizando os termos deslocalização, mesomeria e ressonância como equivalentes, fato que levou a uma discussão no meio acadêmico.

Segundo Kerber,¹ o termo deslocalização deveria ser utilizado preferencialmente. Enquanto Truhlar,⁵ fundamentado pela mecânica quântica, esclarece que os termos deslocalização e ressonância se referem a conceitos diferentes, sendo que a descrição de uma simples substância através de múltiplas estruturas deve ser referida como ressonância. Portanto, quando uma espécie química é representada por várias estruturas, devemos utilizar o conceito qualitativo de ressonância, que é derivado de cálculos matemáticos de funções de onda associadas a ligações químicas.⁶

De acordo com esse conceito, quando duas ou mais estruturas de Lewis diferem apenas na distribuição de elétrons, nenhuma estrutura sozinha é capaz de descrever sua verdadeira distribuição eletrônica. Nesses casos, a estrutura que melhor representa a molécula é chamada de híbrido de ressonância das várias estruturas de Lewis.⁷

A aplicação da teoria qualitativa de ressonância auxilia estudantes de química orgânica a estimar a distribuição eletrônica em moléculas e intermediários, possibilitando a previsão da reatividade química e estabilidade relativa de reagentes, intermediários reacionais e produtos.⁶

As implicações ou conotações das palavras e os símbolos usados para descrever ressonância (por exemplo, estrutura de ressonância, ressonância, híbrido, setas com duas pontas \longleftrightarrow , setas curvas) atestam o fato de que a terminologia é em si um problema¹ e podem causar dificuldades para os estudantes.^{8,9} Esse fato tem levado alguns autores a se preocuparem com este problema¹⁰⁻¹² e a proporem caminhos alternativos, utilizando analogias e metáforas¹³⁻¹⁶ para ajudar a transmitir o conceito de ressonância e a auxiliar os estudantes em seu entendimento. Apesar da importância do tema, pouco tem sido publicado^{6,8,10,17,18} para auxiliar os estudantes na compreensão do assunto.

Como uma alternativa complementar aos recursos didáticos estáticos presentes nos livros e artigos, a utilização das tecnologias interativas no ensino vem sendo discutida há muitos anos,¹⁹ e ferramentas didático-computacionais, como softwares, vídeos, animações e tutoriais têm sido produzidas no Brasil e disponibilizadas na internet para melhorar os processos de ensino e aprendizagem de diferentes conteúdos da Química.²⁰ Todavia, poucos são os recursos disponibilizados na rede que abordam o tema ressonância. Em sua maioria são vídeo-aulas²¹ e hipertextos²² em língua inglesa, e algumas animações/vídeos²³ muito simples, sem interatividade, que abordam o tema de formas descontextualizada, fragmentada e superficial.

Tal cenário nos motivou a desenvolver um software²⁴ educacional simples, interativo e gratuito, que auxiliasse professores e estudantes nos processos de ensino e aprendizagem dos conceitos relacionados à ressonância de espécies orgânicas.

DESCRIÇÃO DO SOFTWARE**Plataforma escolhida**

A Plataforma Adobe Flash²⁵ foi utilizada como base para o desenvolvimento do aplicativo, por ser prática e eficiente para o uso educacional, além de disponibilizar funcionalidades para a geração de ferramentas multimídia para diversas plataformas de software, podendo ser executada nos ambientes Microsoft Windows, Apple

*e-mail: nunes.ufc@gmail.com

Mac OS e praticamente todas as distribuições de Linux, ou mesmo sistemas operacionais de telefones celulares e *tablets*.

O aplicativo

O software é dividido em quatro partes, acessíveis através de botões localizados em um *menu* na parte superior da tela: (1) breve introdução ao tema ressonância de espécies orgânicas; (2) moléculas e intermediários; (3) *quiz*; e (4) créditos do desenvolvimento do aplicativo.

Um clique sobre o botão “*introdução*” leva o usuário a um texto introdutório com animações sobre ressonância em espécies orgânicas, abordando a deslocalização de elétrons, estruturas e híbridos de ressonância, e suas estabilidades relativas. Além disso, o usuário terá acesso às regras para desenhar estruturas de ressonância: (i) mover elétrons π em direção à carga positiva; (ii) mover elétrons π em direção a uma ligação π ; (iii) mover elétrons livres em direção a uma ligação π ; (iv e v) mover um único elétron não ligante em direção a uma ligação π . Ao selecionar uma das regras, será possível explorá-la interativamente, clicando sobre setas com duas pontas (\longleftrightarrow) para visualizar o movimento dos elétrons (através de setas em movimento) e a nova estrutura de ressonância gerada. Quando todas as estruturas de ressonância são apresentadas, o usuário poderá visualizar a estrutura animada do híbrido de ressonância clicando sobre o botão “*híbrido*” que surge, onde poderá observar a deslocalização global dos elétrons pela estrutura (Figura 1a).

Um clique sobre o botão “*moléculas e intermediários*” leva o usuário a uma seção onde são apresentadas 14 espécies orgânicas cíclicas e acíclicas (9 moléculas neutras, 2 carbânions, 2 carbocátions e 1 radical), que permite ao usuário explorar as estruturas bi e tridimensional, além da distribuição eletrônica da espécie selecionada. O software permite a visualização: (a) da estrutura em linha; (b) de um vídeo da estrutura 3D em diferentes formas de representação; (c) das ligações σ ; (d) dos orbitais p; e (e) da vista em perspectiva da molécula enfatizando o sistema π . Além dos itens citados, é possível visualizar a estrutura do híbrido de ressonância através de uma animação de sua formação. Ressalta-se que cada imagem, vídeo ou animação é acompanhado de um comentário para auxiliar seu entendimento.

Finalizando esta seção, o usuário é estimulado a interagir com o software através de cliques sobre as setas (\longleftrightarrow), que levarão ao surgimento sequencial das estruturas de ressonância da espécie selecionada. Após o surgimento da última estrutura de ressonância, é possível visualizar uma animação do híbrido de ressonância (Figura 1b).

O botão “*quiz*” da tela inicial direciona o usuário a uma nova tela, onde poderá testar seus conhecimentos sobre ressonância através de 23 questões de múltipla escolha, que se sucederão automaticamente ao escolher uma das alternativas apresentadas em resposta. Ao responder a última questão, o aplicativo informará o percentual de acerto que o usuário obteve no *quiz* e informará o gabarito das questões.

UTILIZAÇÃO

A estratégia pedagógica para a utilização do software foi realizada em duas aulas no primeiro semestre de 2013, em turmas da disciplina Química Orgânica de cinco diferentes cursos de graduação da Universidade Federal do Ceará: Agronomia (36), Engenharia de Alimentos (04), Farmácia (24), Química (37) e Zootecnia (21).

Na primeira aula, o professor projetava o aplicativo no quadro e, inicialmente, com o auxílio dos textos e animações presentes na seção “*introdução*”, apresentava aos estudantes os conceitos de elétrons localizados e deslocalizados, estruturas e híbridos de ressonância, discutindo suas estruturas. A seguir, ainda utilizando a parte introdutória, interagia com o aplicativo para ensinar diferentes tipos de movimentos de elétrons disponibilizados no software.

Em cada exemplo, a simbologia das setas curvas era explorada para enfatizar o movimento de elétrons e, quando todas as formas eram escritas, o professor discutia com os estudantes a ineficácia das estruturas de ressonância isoladamente para representar “a realidade” das moléculas em estudo, bem como ressaltava a importância do híbrido de ressonância para tal finalidade, o qual era disponibilizado pelo software na forma de uma animação, facilitando a visualização da distribuição eletrônica na molécula. Finalizando a aula, o professor discutia com os estudantes as energias relativas das estruturas de ressonância e suas contribuições para o híbrido de ressonância.

Na segunda aula, o professor explorava todas as 14 espécies da seção “*moléculas e intermediários*” com o intuito de auxiliar na fixação dos conceitos abordados na parte introdutória. Para cada uma das 14 espécies, utilizava o aplicativo para apresentar sequencialmente sua estrutura em linha e 3D, enfatizando sua geometria espacial e a planaridade das regiões onde a ressonância ocorreria e a localização dos orbitais p, os quais também eram apresentados de forma a facilitar a visualização espacial paralela existente entre eles. A partir desta última visualização, o professor selecionava o botão “*híbrido de ressonância*”, fazendo com que uma animação se iniciasse e levasse à formação do sistema π . Finalizando, o professor, clicava sobre o botão “*estruturas de ressonância*” para ter acesso a todas as estruturas e ao híbrido de ressonância, os quais surgiam sequencialmente.

Na última etapa da aula, os estudantes foram estimulados a

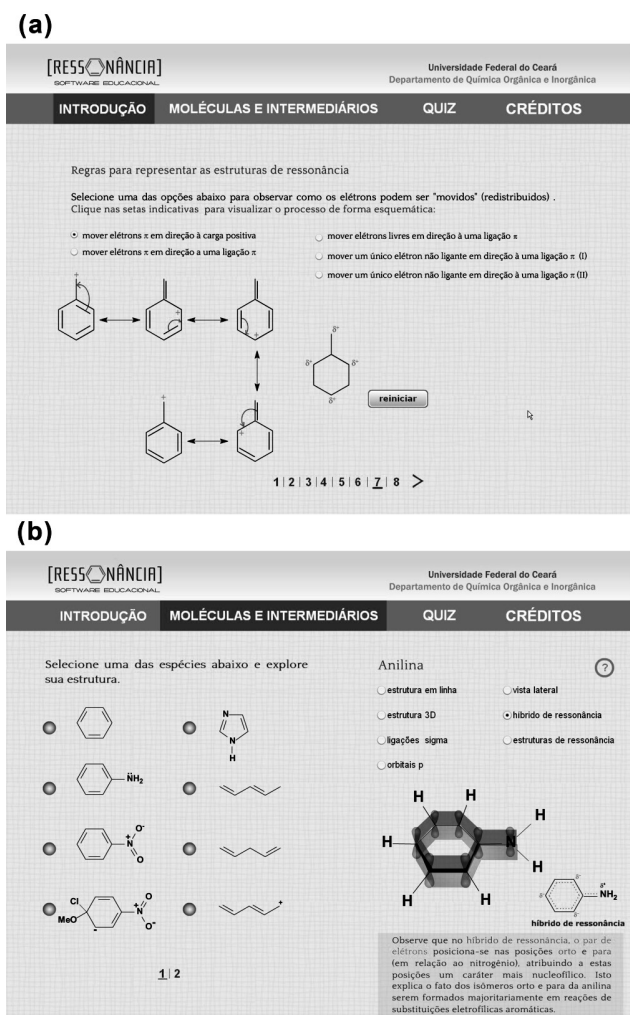


Figura 1. Telas das seções “*Introdução*” (a) e “*Moléculas e Intermediários*” (b)

manusearem o aplicativo durante seus estudos e a testarem seus conhecimentos através do *quiz*, com o intuito de se familiarizem com o software, fixarem os conceitos apresentados, levantarem dúvidas para serem discutidas na aula seguinte e avaliarem o aplicativo. De acordo com a disponibilidade de tempo, o professor também poderia discutir com os estudantes todas as questões do *quiz*.

AVALIAÇÃO

O software foi avaliado voluntariamente por estudantes e professores de diferentes cursos e universidades, utilizando-se questionários compostos de 7 e 8 afirmações, respectivamente. Neles o avaliador deveria manifestar a sua concordância com cada afirmação, assinando um número em uma escala de 0-10 (“tipo Likert”),²⁶ sendo que o número zero (0) significava “discordância plena” e o número dez (10) significava “concordância plena”.

Avaliação discente

O grupo de estudantes que avaliaram o software era composto de 148 estudantes da disciplina Química Orgânica I de seis Cursos da Universidade Federal do Ceará: Engenharia de Alimentos (04), Zootecnia (21), Engenharia de Pesca (26); Farmácia (24), Agronomia (36) e Química (37).

Avaliação docente

O grupo de professores que avaliaram o software era composto de 18 professores, sendo 07 membros do corpo docente do Departamento de Química Orgânica e Inorgânica da Universidade Federal do Ceará e 11 professores de Química de outras Instituições de Ensino Superior: Universidade Estadual do Pará (01), Faculdade de Campinas (01); Universidade de Fortaleza (01); Universidade Federal Rural de Pernambuco (01); Universidade Federal de Sergipe (02); Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (01); Universidade Federal do Rio Grande do Norte (01); Universidade Federal do Piauí (01); e Universidade Estadual do Ceará (02).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo os resultados do questionário de avaliação (Tabela 1), pode-se afirmar que o software foi bem aceito como uma ferramenta educacional pelos estudantes.

Tabela 1. Valores médios ponderados das concordâncias dos estudantes em relação às afirmações

Afirmações	VMP*
1 Do ponto de vista estético, a interface gráfica é agradável.	8,6
2 A forma e o conteúdo do aplicativo despertam a curiosidade e o interesse do usuário.	8,4
3 As estruturas e animações apresentadas no software são familiares e representativas.	9,1
4 O software é interativo e de fácil utilização.	9,1
5 O software contribui para o aprendizado dos conceitos relacionados à ressonância.	9,2
6 A utilização do software pelo professor em aula facilitou o entendimento do conteúdo abordado.	8,8
7 O software é uma ferramenta didática importante para complementar os conteúdos apresentados nos livros impressos.	9,3

*Valores médios ponderados.

As concordâncias com as afirmações apresentadas variaram de 8,4 a 9,3 entre os estudantes (Tabela 1). Portanto, podemos considerar as afirmações como verdadeiras, por estarem mais próximas da concordância plena (10) do que do ponto neutro (5), e muito mais distante da não concordância (zero). Sendo assim, com boa exatidão pode-se afirmar que, do ponto de vista estético, a interface gráfica é agradável (afirmação 1, concordância 8,6). A forma e o conteúdo do aplicativo despertam a curiosidade e o interesse do usuário (afirmação 2, concordância 8,4), apresentando estruturas e animações familiares e representativas (afirmação 3, concordância 9,1), tornando o software interativo e de fácil utilização (afirmação 4, concordância 9,1). Além disso, o software contribui para o aprendizado dos conceitos relacionados à ressonância (afirmação 5, concordância 9,2), uma vez que sua utilização pelo professor em aula facilitou o entendimento do conteúdo abordado pelos estudantes (afirmação 6, concordância 8,8), configurando o software como uma ferramenta didática importante para complementar os conteúdos apresentados nos livros impressos (afirmação 7, concordância 9,3).

A partir da análise das respostas dos professores (Tabela 2) pode-se que afirmar que o software foi bem aceito como uma ferramenta educacional. As concordâncias com as afirmações apresentadas variaram de 8,7 a 9,4. Portanto, também podemos afirmar que os estudantes normalmente têm dificuldade com a aprendizagem dos conteúdos relacionado à ressonância (afirmação 1, concordância 8,9) e que o software pode auxiliar o docente no processo de ensino em sala de aula (afirmação 2, concordância 9,2) e melhorar o rendimento dos estudantes (afirmação 8, concordância 9,2). O software é de fácil utilização em sala de aula (afirmação 2, concordância 9,2) e aumenta o interesse do aluno (afirmação 5, concordância 9,1), trazendo vantagens sobre uma aula tradicional (afirmação 4, concordância 8,7) e sendo adequado ao público a que se destina (afirmação 7, concordância 9,4). Desta forma, o software satisfaz as necessidades educativas que motivaram sua realização (afirmação 6, concordância 9,2).

Tabela 2. Valores médios ponderados das concordâncias dos professores em relação às afirmações

Afirmações	VMP*
1 Os alunos normalmente têm dificuldade com a aprendizagem do tema.	8,9
2 O software é de fácil utilização em sala de aula.	9,2
3 O software auxilia o docente no processo de ensino em sala de aula.	9,4
4 A utilização do software traz vantagens sobre uma aula tradicional.	8,7
5 A utilização do aplicativo durante a aula aumenta o interesse do aluno.	9,1
6 O software satisfaz as necessidades educativas que motivaram sua realização.	9,2
7 O software é adequado ao público a que se destina.	9,4
8 O software pode melhorar o rendimento dos estudantes.	9,2

*Valores médios ponderados.

A tecnologia da informação tem se caracterizado como um recurso inestimável para a busca e manipulação do conhecimento, de forma que o computador pode ser um excelente auxiliar nos processos de ensino e aprendizagem, através da publicação e consulta de informações distribuídas pela internet ou do uso de softwares educacionais.²⁷ Desta forma, o software desenvolvido vem suprir a necessidade de ferramentas didático-computacionais, complementares aos livros e

artigos, contribuindo para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem do tema ressonância.

O software está disponível gratuitamente no sítio do Curso de Química da Universidade Federal do Ceará: <http://www.quimica.ufc.br/ressonancia>.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos estudantes e aos professores que participaram da avaliação deste software.

REFERÊNCIAS

1. Kerber, R. C.; *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 223.
2. Arndt, F.; Scholz, E.; Nachtwey, P.; *Chem. Ber.* **1924**, *57*, 1903; Arndt, F.; Eistert, B.; Ender, W.; *Chem. Ber.* **1929**, *62*, 44; Arndt, F.; Kalischek, A.; *Chem. Ber.* **1930**, *63*, 587; Arndt, F.; *Chem. Ber.* **1930**, *63*, 2963; Arndt, F.; Eistert, B.; *Z. Phys. Chem.* **1935**, *31*, 125.
3. Ingold, C. K.; *Chem. Rev.* **1934**, *15*, 225.
4. Pauling, L.; *Chem. Rev.* **1928**, *5*, 173; Pauling, L.; *J. Am. Chem. Soc.* **1931**, *53*, 1367; Pauling, L.; *J. Am. Chem. Soc.* **1931**, *53*, 3225; Pauling, L.; *J. Am. Chem. Soc.* **1932**, *54*, 988; Pauling, L.; *J. Am. Chem. Soc.* **1932**, *54*, 3570; Pauling, L.; Wheland, G. W.; *J. Chem. Phys.* **1933**, *1*, 362; Pauling, L.; Sherman, J.; *J. Chem. Phys.* **1933**, *1*, 606; Pauling, L.; Sherman, J.; *J. Chem. Phys.* **1933**, *1*, 679; Pauling, L.; Wilson, E. B., Jr. *Introduction to Quantum Mechanics (With Applications to Chemistry)*; McGraw-Hill: New York, 1935.
5. Thrular, D. G.; *J. Chem. Educ.* **2007**, *84*, 781.
6. Hass, M. A.; *Chem. Educator* **2008**, *13*, 136.
7. Carey, F. A.; *Química Orgânica*, 7ª ed.; AMGH Editora: São Paulo, 2011.
8. Smith, O. L.; Dragojlovic, V.; *Chem. Educator* **2012**, *17*, 206.
9. Duis, J. M.; *J. Chem. Educ.* **2011**, *88*, 346.
10. Davies, D. R.; Hill, M. L.; *Chem. Educator* **2005**, *10*, 416.
11. Bodner, G. M.; Bhattacharyya, G.; *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 1402.
12. Ferguson, R.; Bodner, G. M.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2008**, *9*, 102.
13. Brisbois, R. G.; *J. Chem. Educ.* **1992**, *69*, 971; Silverstein, T. P.; *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 206; Starkey, R.; *J. Chem. Educ.* **1995**, *72*, 542; Abel, K. B.; Hemmerlin, W. M.; *J. Chem. Educ.* **1991**, *68*, 834; Delvigne, F.; *J. Chem. Educ.* **1989**, *66*, 461; Richardson, W. S.; *J. Chem. Educ.* **1986**, *63*, 518; Sardella, D. J.; *J. Chem. Educ.* **1977**, *54*, 217.
14. Straumanis, A. R.; Ruder, S. M.; *J. Chem. Educ.* **2009**, *86*, 1389.
15. Friesen, J. B.; *J. Chem. Educ.* **2008**, *85*, 1515.
16. Keller, J. W.; *Chem. Educator* **2010**, *15*, 331.
17. Abel, K. B.; Hemmerlin, W. M.; *J. Chem. Educ.* **1991**, *68*, 834; Starkey, R.; *J. Chem. Educ.* **1995**, *72*, 542; Delvigne, F.; *J. Chem. Educ.* **1989**, *66*, 461; Richardson, W. S.; *J. Chem. Educ.* **1986**, *63*, 518.
18. Silverstein, T. P.; *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 206.
19. Ferreira, V. F.; *Quim. Nova* **1998**, *21*, 780.
20. Silva Jr., J. N.; Barbosa, F. G.; Leite Jr., A. J. M.; *Quim. Nova* **2012**, *35*, 1884; Marson, G. A.; Torres, B. B.; *J. Chem. Educ.* **2011**, *88*, 1616; Yokaichiya, D. K.; Fraceto, L. F.; Miranda, M. A.; Galembek, E.; Torres, B. B.; *Quim. Nova* **2004**, *27*, 489; Lona, L. M. F.; Fernandes, F. A. N.; Roque, M. C.; Rodrigues, S.; *Computers and Chemical Engineering* **2000**, *24*, 1247; Paiva, J. C.; Morais, C.; *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química* **2006**, *100*, 87; Sousa, M. P.; Merçon, F.; Santos, N.; Rapello, C. N.; Ayres, A. C. S.; *Química Nova na Escola* **2005**, *22*, 35.
21. goo.gl/heGMxe, acessada em Agosto 2013; goo.gl/pCXGmX, acessada em Agosto 2013.
22. goo.gl/XKAqyK, acessada em Agosto 2013.
23. goo.gl/rM2NCQ, acessada em Agosto 2013; goo.gl/IW48Iq, acessada em Agosto 2013.
24. <http://www.quimica.ufc.br/ressonancia>, acessada em Agosto 2013.
25. Adobe Flash, Adobe Systems Incorporated. Copyright © 2013.
26. Likert, R.; *Archives of Psychology* **1932**, *140*, 1.; Sax, G.; *Principles of Educational and Psychological Measurement and Evaluation*, 3ª ed., Wadsworth Publishing Company: California, 1989; Hartley, J.; Betts, L. R.; *International Journal of Social Research Methodology* **2010**, *13*, 17; Dawes, J.; *International Journal of Market Research* **2008**, *50*, 61.
27. Eichler, M.; Pino, J. C. D.; *Quim. Nova* **2000**, *23*, 835.