

Introdução à Geometria de Fullerenos: explorando estruturas moleculares a partir de um material didático

*Joana D'Arc da Silva Reis¹(PQ), Thiago H. B. Corrêa¹(PQ)

*jdareis@gmail.com

¹ Docente do Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (ICENE/UFTM) - Av. Doutor Randolpho Borges Júnior, Univerdecidade, Uberaba/MG - Brasil.

Palavras-Chave: fullerenos, interdisciplinaridade, ensino de química.

RESUMO

A respeito dos fullerenos, muito já se sabe sobre o potencial e as limitações desta classe de nanocompostos, a qual tem se revelado ser um promissor campo de pesquisa e aplicação. O estudo destes compostos traz uma riqueza conceitual que pode ser explorada e utilizada no ensino de Química, evidenciando, sobretudo, a viabilidade de interlocução entre a Matemática e a Química na exploração/compreensão dessas estruturas químicas que são regidas pela geometria (molecular). A fim de promover uma introdução ao estudo dos fullerenos e explorar a relação das propriedades geométricas de suas estruturas, este trabalho apresenta os resultados de uma experiência vivenciada na oficina *Geometria de Fullerenos*, ofertada a integrantes do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), subprojeto Química, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, e detalha a elaboração de um material didático que pode ser empregado por professores de Química em diferentes níveis de ensino.

INTRODUÇÃO

A Matemática é uma ciência que fornece ferramentas para a construção de muitos conceitos científicos. Além disso, observa-se, na natureza, um recorrente padrão geométrico, que alicerça e influi em arranjos espaciais, desde o formato de um favo de mel até a disposição de um cristal de gelo em um reduzido espaço, todos tendendo a variações hexagonais. Para entender tais variações, precisamos identificar a geometria das formas, que agem, desde seu nível mais básico, buscando a solução mais eficiente em termos de espaço e energia. No nível submicroscópico, o mundo também é estruturado em torno de leis geométricas, tendo a Química inúmeros exemplos: estruturas cristalinas, redes de Bravais, nanocompostos e *clusters*.

Há evidências de que a preocupação com a forma, simetria e regularidade remonta a milhares de anos na história da humanidade. Podemos citar os poliedros do neolítico (2.000 a.C.) encontrados na Escócia (Figura 1) e trabalhos como o do arquiteto Richard Buckminster Fuller (Figura 2) como exemplos de que a geometria tem influenciado e inspirado nossas criações e curiosidade - sem mencionar a atenção também dada ao tema no pensamento clássico (BRADING & CASTELLANI, 2013).



Figura 1. Poliedros do Neolítico.



Figura 2. Richard B. Fuller.

A Geometria estuda o espaço, as formas nele existentes e as suas relações. Sua importância pode ser percebida tanto do ponto de vista prático quanto na organização do pensamento lógico e dedutivo. Oliveira (2004, p.78) diz que:

Desconhecer a Geometria pode interferir na apreensão da relação homem e espaço físico, pois a “leitura interpretativa” do mundo exterior se torna incompleta, a organização do pensar geométrico fica limitada, dificultando a compreensão da matemática e sua conexão com outras disciplinas.

Para este trabalho, foi utilizado um material didático manipulável de baixo custo, de confecção relativamente simples e alguns artigos de expressivo valor científico e histórico publicados sobre o tema, como uma proposta de estudo e de inspiração na elaboração atividades de ensino. Durante suas oficinas, as referências bibliográficas, sobre fulerenos, selecionadas para o estudo e aqui detalhadas – sejam os textos em português, completos, ou as traduções, formais, dos textos em inglês ou espanhol – não foram objeto de atenção primária dos participantes (alunos e professores participantes), mas sim seus principais argumentos e resultados, segundo uma transposição didática, transformando-os em atividades e objetivos didáticos.

O termo transposição didática foi introduzido, em 1975, por Michel Verret e rediscutido por Yves Chevallard em seu livro *La Transposition Didactique* (1985). Chevallard denomina como transposição didática o trabalho que transforma um “objeto do saber a ensinar” em um “objeto de ensino”. Assim, tal transposição pode ser compreendida como o processo no qual um conteúdo do saber que foi designado como saber a ensinar sofre, a partir daí, um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino.

De acordo com Pinho (2000, p. 181):

A transposição didática descreve um processo de modificação pelo qual o saber é submetido até se tornar conteúdo de ensino. Negá-la ou ignorá-la é aceitar os conteúdos científicos contidos nos livros textos como uma cópia fiel da produção científica do homem. Ter consciência da transposição didática, bem como da importância das práticas sociais de referência é de suma importância para o professor que pretende desenvolver um ensino mais contextualizado e com conteúdos menos fragmentados do que aqueles dos livros textos.

No processo de transposição didática há um movimento, que parte de mudanças no “saber acadêmico” e se institucionaliza em novos “textos do saber” (propostas

didáticas), exigindo o tratamento, na sala de aula, de novos conteúdos, com a adoção de novas práticas de ensino (saber efetivamente ensinado).

Assim, não se trata apenas de nos interrogarmos sobre o valor científico das informações contidas nas referências utilizadas, mas de tentarmos vislumbrar diferentes possibilidades de uso desses textos como ferramenta no processo de organização e reelaboração de informações com “relativo” valor científico e histórico, na produção de propostas didáticas, a partir de práticas, que busquem aproximar estudantes e professores de diferentes áreas do conhecimento.

Essa, talvez, seja uma excelente contribuição que a transposição didática pode oferecer à relação aluno-conteúdo-professor, colaborando para que o processo de ensino e aprendizagem seja favorecido pela socialização dos conteúdos científicos, que são arduamente produzidos pelo saber “erudito” e nem sempre aproveitado no saber ensinado pelos professores e pela escola.

Sobre os fulerenos como objeto de estudo e pesquisa, ressaltamos o aspecto interdisciplinar envolvido, propiciando, de forma espontânea, uma aproximação sinérgica entre conceitos pretensamente específicos de duas grandes áreas da ciência. A compreensão da estrutura do fullereno exige a clareza de conceitos fundamentais da Química (Ligações) e da Matemática (Geometria), que na dialogicidade tornam-se o cerne deste trabalho e o intuito da oficina supracitada.

Em suma, o mundo e seus saberes não são formados por partes específicas e independentes. Sua segmentação, bem como do saber, em disciplinas, é uma mera ferramenta metodológica para que se dê conta de sua complexidade, entretanto, por vezes pode tornar-se necessário, desejável ou vantajoso, reintegrar-se tais disciplinas em um corpo de conhecimento articulado - funcional, sistêmico, cosmológico, enfim segundo as diversas correntes possíveis e existentes de concepção desse mundo e de seu saber. De qualquer forma, revela-se evidente os benefícios que a abordagem interdisciplinar pode oferecer ao pesquisador ou aluno - independente de quaisquer críticas que possam ser tecidas, do ponto de vista filosófico, pedagógico ou metodológico, a enfoques inter-relacionados e dinâmicos para um mesmo fenômeno, a partir de perspectivas múltiplas.

A fim de promover uma introdução ao estudo dos fulerenos e explorar a relação das propriedades geométricas de suas estruturas moleculares, estabelecendo um diálogo entre conceitos matemáticos e químicos, o presente trabalho apresenta os resultados de uma experiência vivenciada na oficina *Geometria de Fulerenos*, ofertada a integrantes do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), subprojeto Química, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM - Uberaba/MG), e detalha a elaboração de um material didático que pode ser empregado por professores de Química em diferentes níveis de ensino.

METODOLOGIA

A partir desses objetivos “transposicionados” e interdisciplinares, seguiu-se uma metodologia qualitativa interpretativa, pesquisando-se artigos científicos sobre o tema, com a elaboração e a aplicação de uma proposta de ensino sobre a geometria dos fulerenos, utilizando-se os materiais manipulativos que serão descritos. A investigação realizada é de natureza descritiva, como apresentada a seguir.

Primeiramente, foram pesquisados artigos científicos sobre o tema, em publicações nacionais e estrangeiras, tanto na área de ensino de Química como da Matemática. Uma observação importante é o fato de que em todos eles, os aspectos

geométricos nas estruturas dos fulerenos foram fundamentais para os resultados de suas respectivas pesquisas.

Observou-se, então, que textos publicados em português sobre o assunto, principalmente com objetivos educacionais, são poucos e cobrem somente uma breve introdução sobre fulerenos. Assim, intensificou-se a busca em textos publicados em inglês e espanhol, a fim de informar-se sobre novos achados, fronteiras e questionamentos, enriquecendo a continuação dos estudos locais, bem como buscando contribuir para a elaboração de uma proposta de ensino que contemplasse e aprimorasse os esforços de nossos pares locais, com elaboração e aplicação de atividades relevantes ao tema e às necessidades de nossos alunos.

Fez-se, também, uma breve introdução histórica e uma apresentação do material empregado. Seguiu-se com as atividades, uma a uma, que foram apresentadas e desenvolvidas com a utilização dos recursos didáticos sugeridos e com liberdade para interpretação e elaboração de estratégias para construção dos modelos.

O estudo dos dados foi de natureza qualitativa. Foi feita uma seleção e recorte dos textos utilizados como referências na elaboração das atividades. Buscou-se compreender e avaliar como essa experiência colaborou na aquisição de conceitos e propriedades básicas da geometria dos fulerenos, durante a aplicação das atividades desenvolvidas com os materiais manipuláveis.

TEXTOS SELECIONADOS

1. “*Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular*” (Rocha-Filho, 1996).
Publicado na seção “atualidades em química”, da revista Química Nova na Escola, em 1996, mesmo ano em que foi outorgado o Prêmio Nobel de Química aos três químicos que descobriram os fulerenos (Harold Walter Kroto, Robert Floyd Curl e Richard Errett Smalley). O trabalho oferece um bom relato da história da descoberta da molécula. Aplica a característica de Euler para poliedros convexos, para demonstrar a restrição de 12 pentágonos na composição de fulerenos. Disponibiliza uma figura que pode ser utilizada para a construção do modelo da molécula C_{60} que pode ser recortada e colada a partir de cópia em papel sulfite. Apresenta propriedades e algumas possíveis aplicações para o C_{60} e nanotubos. Apresenta um exemplo de nanotubo e aborda a história da sua sintetização. Apresenta a família de fulerenos gigantes.
2. “*Sinfonía de fullerenos: la magia de la encapsulación*” (Alegret; Rodríguez-Forteza & Poblet, 2014).
Faz um relato da história da descoberta da molécula. Aplica a característica de Euler para poliedros convexos, para demonstrar a restrição de 12 pentágonos para compor fulerenos. Fornece imagens representando diversos fulerenos, fotos ou modelos produzidos computacionalmente de fulerenos. Apresenta propriedades e algumas possíveis aplicações para o C_{60} e nanotubos, assim como exemplos destes. Argumenta que a regra dos pentágonos isolados e uma maior simetria contribuem para uma maior estabilidade dos fulerenos. Dedicar um tratamento especial aos endofulerenos. Faz um breve relato da história da sintetização de casos que não estão estruturados de acordo com a regra dos pentágonos isolados.

3. “*The stability of the fullerenes C_n , with $n=24, 28, 32, 36, 50, 60$ and 70* ” (Kroto, 1987).

Publicado em 1987, na revista *Nature*, o artigo tem como autor o britânico, Harold W. Kroto, um dos três químicos agraciados com o Prêmio Nobel de Química pela descoberta dos fulerenos. O artigo relaciona a estabilidade de fulerenos C_{24} até C_{70} , com um conjunto de regras químicas e sua estrutura geométrica. Os resultados destes estudos também forneceram evidências adicionais de que, de fato, o C_{60} é um icosaedro truncado. Para a estrutura estar em conformidade com os requisitos de valência habituais do carbono, cada átomo deve ser conectado a outros três átomos por uma ligação dupla e duas ligações simples. Discute a regra dos pentágonos isolados para maior estabilidade dos fulerenos, assim como relaciona os tipos das fusões de pentágonos com a variação dos graus de tensão e a instabilidade de fulerenos. Argumenta que a estrutura geodésica poderia favorecer uma maior simetria ao isômero, além de oferecer uma maior resistência devido a seu formato esférico. Assume como resultado que em qualquer “gaiola” esférica consistindo de “h” hexágonos, exceto para “h=1”, são necessários 12 pentágonos. Fornece imagens representando os fulerenos pequenos (*small fullerenes*) discutidos no artigo.

4. “*An Atlas of Fullerenes*” (Fowler & Manolopoulos, 2007).

Além de ser uma importante referência sobre fulerenos, também é uma das mais completas. Apresenta resultados atualizados sobre fulerenos; oferece a estudantes e pesquisadores um guia prático; apresenta um conjunto completo de imagens de estruturas de fulerenos e de tabelas de suas propriedades.

MATERIAL DIDÁTICO MANIPULATIVO: DESCRIÇÃO E ALGUMAS REFLEXÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA

As peças empregadas na oficina compõem as faces poligonais [pentagonais e hexagonais] (Figura 3) e podem ser feitas utilizando “papel cartão”, um tipo de cartolina com gramatura igual ou um pouco superior a 240 gramas, para ser resistente e ter a flexibilidade adequada. Também se utilizou elásticos, que foram usados como bandas de tear pulseiras.

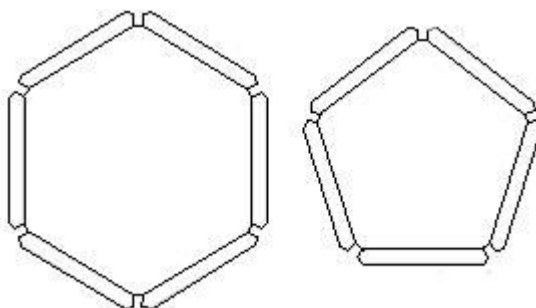


Figura 3. Modelos de peças poligonais (hexágono e pentágono).

Recomenda-se empregar papeis cartão com cores diferentes, cada qual específica os diferentes formatos de peça. Isso facilitará bastante à visualização de propriedades geométricas e estruturais dos fulerenos representados nas “construções” feitas com o material.

As vantagens deste material são seu baixo custo; o fato de ser resistente; ser montável e desmontável; além de ser bastante compacto e leve para armazenamento. Em experiências anteriores, componentes similares (as peças recortadas em papel cartão em diferentes formas) apresentaram uma vida útil longa. Sua utilização foi possível por cinco anos, em várias atividades desenvolvidas para ensino de geometria, em uma escola pública do ensino fundamental e médio, no estado de São Paulo. Uma desvantagem na confecção manual é o fato de ser bastante trabalhoso e demorado recortar cada uma das peças poligonais. Nesse caso, pode-se pensar em envolver os alunos, distribuindo-se essa tarefa entre eles. Contudo, há que se observar que, em uma experiência anterior, os alunos que participaram da produção das peças exploraram o material com menor entusiasmo, no desenvolvimento das atividades propostas em aula, que aqueles alunos que não tiveram que recortar peças poligonais.

Os materiais didáticos constituem um importante recurso a serviço do professor em sala de aula. Em meio a uma grande variedade de materiais didáticos, como o giz, livros, jogos, caderno, caneta, etc., muitas pesquisas sugerem que a utilização de materiais manipuláveis pode contribuir para o desenvolvimento da visualização, cujo significado, no dicionário Aurélio, é o de “transformação de conceitos abstratos em imagens reais ou mentalmente visíveis”.

De acordo com Nacarato (2005, p. 4), o desenvolvimento da habilidade de representar mentalmente um objeto que não está ante os olhos do sujeito, no momento de sua ação sobre este objeto, “depende da exploração de modelos ou materiais que possibilitem ao aluno a construção de imagens mentais”.

Em relação ao desenvolvimento da visualização, particularmente no caso de ensino e aprendizagem de Química, Zanon e colaboradores (2008) mostram que os modelos moleculares são materiais didáticos que auxiliam na percepção do arranjo espacial dessas estruturas, permitindo o desenvolvimento da noção da tridimensionalidade que colabora com a aprendizagem de certos conteúdos de Química.

Segundo Ferreira e Justi (2008, p.33), “a atividade de elaborar modelos permite ao aluno visualizar conceitos abstratos pela criação de estruturas por meio das quais ele pode explorar seu objeto de estudo e testar seu modelo, desenvolvendo conhecimentos mais flexíveis e abrangentes”.

Esses “materiais palpáveis” permitem que as representações geométricas possam ser percebidas através do tato, além da visão. Salienta-se que não se buscou determinar de forma absoluta e precisa o quanto o uso de materiais manipuláveis melhora o processo de ensino e aprendizagem, inclusive por não se ter referência para tal comparação. Nosso objetivo foi pensar possíveis formas para sua utilização no tratamento do tema sobre fulerenos em sala de aula, conquanto sem refrear-se de uma tentativa de avaliação preliminar de como o uso desses materiais pode contribuir para o ensino e a aprendizagem sobre fulerenos.

CONTEÚDOS DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NA OFICINA *GEOMETRIA DE FULERENOS*

1. Introdução histórica sobre a descoberta da molécula, utilizando como referência um recorte do artigo “Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular” (Rocha-Filho, 1996).
2. Aplicação da característica de Euler para poliedros convexos para demonstrar a restrição de 12 pentágonos para compor fulerenos. Aula expositiva e demonstração na lousa. Essa demonstração pode ser encontrada em três dos quatro artigos referenciados e usados nesse trabalho.
3. Apresentação da regra dos pentágonos isolados para maior estabilidade dos fulerenos. Esse argumento pode ser encontrado em todas as referências mencionadas anteriormente.
4. Construção dos modelos das moléculas C_{60} (Figura 4) e C_{70} usando o material manipulável para representá-los. Apresentação de exemplos de nanotubos (Figura 5), usando como referência um recorte do artigo “*Sinfonía de fullerenos: la magia de la encapsulación*” (Alegret; Rodríguez-Forteza & Poblet, 2014).



Figura 4. Representação do C_{60} .



Figura 5. Representação de Nanotubo.

5. Verificação dos requisitos de valência habituais de carbono, isto é, como cada átomo deve ser conectado a outros três átomos por uma ligação dupla e duas ligações simples. A referência foi encontrada no artigo “*The stability of the fullerenes C_n , with $n=24, 28, 32, 36, 50, 60$ and 70* ” (Kroto, 1987) e no livro “*An Atlas of Fullerenes*” (Fowler & Manoloupoulos, 2007).
6. Apresentação das propriedades do C_{60} e algumas de suas possíveis aplicações, tendo como referências os artigos “*Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular*” (Rocha-Filho, 1996) e “*Sinfonía de fullerenos: la magia de la encapsulación*” (Alegret; Rodríguez-Forteza & Poblet, 2014).
7. Atividade para verificar que usando-se somente as peças hexagonais seria impossível montar uma estrutura totalmente fechada. Os pentágonos são responsáveis pela curvatura da molécula e, conseqüentemente, por sua forma tridimensional, conforme imagens abaixo (Figura 6).



Figura 6. Demonstração da curvatura das estruturas a partir dos pentágonos.

8. Verificação da inexistência do fulereno C_{22} . Atividade com utilização do material manipulável, que permite “construir” todos os casos e, em todos eles, observa-se que a “gaiola” não fecha, tendo por referência o artigo ““*The stability of the fullerenes C_n , with $n=24, 28, 32, 36, 50, 60$ and 70 ”* (Kroto, 1987) e o livro “*An Atlas of Fullerenes*” (Fowler & Manoloupoulos, 2007).
9. Apresentação da família de fulerenos gigantes, usando como referência o texto “*Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular*” (Rocha-Filho, 1996). Também foi feita a “construção” de um hemisfério do modelo de fulerenos gigante, com dois “anéis” de hexágonos ao redor de um pentágono.
10. Apresentação de casos que não estão estruturados de acordo com a regra dos pentágonos isolados. Referências que subsidiaram esta atividade: “*The stability of the fullerenes C_n , with $n=24, 28, 32, 36, 50, 60$ and 70 ”* (Kroto, 1987) e “*Sinfonía de fullerenos: la magia de la encapsulación*” (Alegret; Rodríguez-Fortea & Poblet, 2014), bem como o emprego do material manipulável para representar alguns casos.

AVALIAÇÃO

De acordo com a relato dos participantes, o curso proporcionou o estudo sobre fulerenos de acordo com objetivos apresentados inicialmente. Os participantes relataram que a utilização do material didático manipulável, para investigar a geometria dos fulerenos, foi interessante e colaborou na compreensão de conceitos e na visualização de propriedades geométricas referentes a essas moléculas.

Outros pontos positivos mencionados referem-se à escolha do tema e as elaborações das atividades, que proporcionaram um esclarecimento e boa fundamentação sobre os conhecimentos básicos pertinentes à geometria dos fulerenos, além de reflexões sobre o tema. Diante do exposto, vale dizer que considerar que a simples manipulação empírica desses objetos levará à aprendizagem de conceitos é um equívoco, uma vez que nessa proposta, o professor deverá atuar como mediador na produção do conhecimento, orientando o aluno a realizar uma ação reflexiva sobre seu objeto de estudo durante a atividade experimental.

Nesse caso, o bom uso do material didático manipulável, no processo de ensino e aprendizagem, depende mais do modo como o professor irá utilizá-lo no momento em que está a mediar uma atividade com esse material.

Embora este material didático originalmente tenha sido elaborado para estudantes de graduação em licenciatura em Química e professores de Química na educação básica, acredita-se que o mesmo também possa ser útil a estudantes do ensino médio e a outros.

Todos os conteúdos das atividades da oficina foram trabalhados a partir do material citado. Este foi utilizado de modo a demonstrar elementos da estrutura de fulerenos que estão limitados à abstração do conteúdo químico. Em outras palavras, o material trouxe para o nível macroscópico o que estava, até então, restrito ao nível submicroscópico, revelando ser de extrema relevância para a “materialização” de conceitos, ajudando o aluno a compreender estruturas químicas regidas pela geometria [molecular] (Figura 7). Assim, a Matemática foi uma ferramenta indispensável na oficina para a clareza das leis que regem as ligações químicas, e elucidam as propriedades dos fulerenos descritas nos textos que fundamentaram nossa discussão.



Figura 7. Alunos manipulando o material.

Conceitos imbricados as subáreas da Química foram tratados de forma articulada, fazendo com que conteúdos não fossem encarados como exclusivos de um campo da Química.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, podemos concluir que esta oficina proporcionou momentos de experimentação, conjectura, partilha e discussão. Na avaliação das produções dos alunos, pudemos verificar que a aquisição de conceitos e propriedades básicas sobre fulerenos e sua geometria ocorreu de forma satisfatória, conforme eles mesmos se expressaram.

Também não podemos descartar o fato de que transformar artigos científicos em conteúdos para o ensino de Química pode ser uma forma de socializar a produção científica, favorecendo o processo de ensino e a produção de metodologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

As Referências, elemento obrigatório, devem ser elaboradas de acordo com a NBR 6023/2002.
[Como fazer: <http://www.bu.ufsc.br/framerefer.html>.]

ALEGRET, N.; FORTEA, A.; POBLET, J. M. R. Sinfonía de Fullerenos: la magia de la encapsulación. **Anales de la Real Sociedad Española de Química**, Madrid, 110 (2), 2014.

BRADING, K.; CASTELLANI, E. Symmetry and Symmetry Breaking. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, Zalta, E. N. (ed.), Stanford, Spring 2013. Disponível em:
<<http://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/symmetry-breaking/>>. Acesso em: 07/março/2016.

FERREIRA, P. F. M.; JUSTI, R. S. Modelagem e o "Fazer Ciência". **Química Nova na Escola**, São Paulo, nº 28, maio 2008.

FOWLER, P. W.; MANOLOPOULOS, D. E. **An Atlas of Fullerenes**. New York: Dover Publications, 2007.

KROTO, H. W. The stability of the fullerenes C_n , with $n=24, 28, 32, 36, 50, 60$ and 70 . **Nature**, Londres, 329(6139), outubro, 1987.

NACARATO, A. M. Eu trabalho primeiro no concreto. **Revista da Educação Matemática**. São Paulo, ano 9 - 10, 2004 – 2005.

OLIVEIRA, S. S. **Temas Regionais em Atividades de Geometria: uma proposta na formação continuada de professores de Manaus (AM)**. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

ROCHA-FILHO, R. C. Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, nº 4, novembro 1996.

ZENIL, H. **Lo que cabe en el espacio - La geometria como pretexto para explorar nuestra realidad física y matemática**. Livro Eletrônico, 2011. Disponível em:
<<http://scifunam.fisica.unam.mx/mir/copit/TS0008ES/TS0008ES.pdf>>. Acesso em: 11/fevereiro/2011.

ZANON, D. A. V.; GEUERREIRO, M. A. S.; OLIVEIRA, R. de. **Jogo didático ludo químico para o ensino de nomenclaturas dos compostos orgânicos: projeto, produção, aplicação e avaliação**. Departamento de didática, UNESP – SP, 2008.