

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE QUÍMICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

JOÃO RIBEIRO FRANCO NETO

TECNOLOGIAS NO ENSINO DE GEOMETRIA MOLECULAR

Uberlândia
2007

JOÃO RIBEIRO FRANCO NETO

TECNOLOGIAS NO ENSINO DE GEOMETRIA MOLECULAR

Dissertação apresentada à Banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Química.

Orientadora: Prof. Dra. Rejane Maria Ghisolfi da Silva

Uberlândia
2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F825t Franco Neto, João Ribeiro, 1962-
Tecnologias no ensino de geometria molecular / João Ribeiro Franco
Neto. - 2007.
122 f. : il.

Orientador: Rejane Maria Ghisolfi da Silva

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Química.
Inclui bibliografia.

1. Química - Estudo e ensino - Teses. 2. Ensino médio - Teses. I. Silva, Rejane Maria Ghisolfi da. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Química. III. Título.

CDU: 54:37



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Instituto de Química
Programa de Pós Graduação em Química- MESTRADO
E-mail: cpqquimica@ufu.br - Fone: 3239-4385

ALUNO(A): JOÃO RIBEIRO FRANCO NETO

NÚMERO DE MATRÍCULA: 5052406

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: QUÍMICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA: NÍVEL MESTRADO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:

"Tecnologias no Ensino de Geometria Molecular"

ORIENTADOR:

PROFª DRA. REJANE MARIA GHISOLFI DA SILVA

A Dissertação foi **APROVADA** em apresentação pública realizada na Sala 1B 204 no Campus Santa Mônica, no dia 17 de agosto de 2007, às 08h30 horas, tendo como Banca Examinadora:

NOME:

ASSINATURA:

Profª Dra. Rejane Maria Ghisolfi da Silva

(Instituto de Química / UFU)

Prof. Dr. Arlindo José de Souza Júnior

(Faculdade de Matemática / UFU)

Profª Dra. Irene Cristina de Mello

(UFMT)

Uberlândia, 17 de agosto de 2007.

Dedico esse trabalho à minha mãe, Mariana Ribeiro Franco Parreira e, postumamente, ao meu pai, Valteno Martins Parreira, que, pelos seus exemplos de vida, me ensinaram a enfrentar os desafios de cabeça erguida, não deixando que derrotas fossem causas de desistência, e sim um incentivo a mais para continuar lutando.

Dedico também a minha esposa Maria José Martins Soares, que foi minha razão em muitos sentidos, principalmente me ajudando a entender os meus caminhos, a perceber meus limites e a buscar sempre uma evolução.

Aos meus filhos, Thaís, Laís e Rafael, pela imensurável paciência e compreensão durante o período em que estive ocupado na realização deste trabalho.

Aos meus irmãos, Walteno e Vânia, pelo incentivo, pelo apoio, e principalmente pelo amor demonstrado durante toda minha vida.

Aos meus sobrinhos, Frederico, Verônica, Fernanda, Vanessa e Nayara, pela ausência nesse período.

Ao Link, companheiro inseparável nos momentos solitários de divagações durante este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A elaboração e a conclusão desta dissertação só foram possíveis com a colaboração e o auxílio de várias pessoas. Não poderia então terminá-lo sem lhes manifestar a minha mais sincera gratidão. Correndo o risco de, injustamente, omitir alguém, agradeço:

Primeiramente a Deus, por ter-nos dado o dom da inteligência e a coragem da perseverança.

À minha orientadora, Doutora Rejane Maria Ghisolfi da Silva, pela disponibilidade manifestada, pelo apoio e pelo incentivo prestados durante a elaboração da presente dissertação. A sua orientação foi fundamental na consecução do trabalho. Gostaria de lhe agradecer também pelas palavras de incentivo e compreensão, que permitiram que eu acreditasse cada vez mais na conclusão deste estudo.

Aos professores doutores Arlindo José de Souza Junior e Sandra Terezinha de Farias Furtado, que participaram do meu Exame de Qualificação e colaboraram para o aperfeiçoamento desta dissertação.

Aos colegas do mestrado: Juliano Soares Pinheiro e José Gonçalves Teixeira Júnior, pela acolhida e pela troca intensa de conhecimentos, pelas reflexões sobre as nossas ansiedades e esperanças sobre a Educação Química.

Às Irmãs da Congregação de São Carlos Borromeo Scalabrinianas: Umbelina, Madalena, Kelisane e Vicentina, pelo apoio e a disponibilidade em todos os momentos deste trabalho.

Aos colegas da E. E. Cel. Tônico Franco, que souberam entender a minha ausência em certos momentos.

À Pedagoga Ilza Moraes de Carvalho, pela amizade, compreensão e sabedoria de uma grande administradora.

À amiga Teresa Cristina Nascimento, pela revisão deste trabalho e pela amizade duradoura.

À amiga Marlise B. Moreira, pelo apoio, amizade e contribuições.

À colega Carmem Fabíola O. de Queiroz, pelos momentos vividos de incerteza no início do trabalho e a sólida amizade que daí acabou resultando.

Antes de nos atrevermos a censurar ou recomendar formas de uso, na sala de aula, de uma tecnologia decididamente incrustada na sociedade, devemos ser moderados e reconhecer que é necessário investigar o que ali se passa, com a única certeza de que buscamos respostas para perguntas que possam nos lançar para além da atmosfera conservadora que caracteriza os momentos de ruptura paradigmática.

Marcelo Giordan

RESUMO

Este estudo teve como objetivo investigar a utilização de diferentes tecnologias no ensino de Geometria Molecular e, fundamentalmente, identificar se o *software ChemSketch*[®] potencia ou desfavorece a elaboração de modelos mais adequados de estruturas químicas. Para subsidiar este trabalho, recorreu-se à pesquisa qualitativa, que se consolidou em um estudo de caso. O estudo de caso foi o método de procedimento adotado, voltado para uma turma de 28 alunos da 2ª série do Ensino Médio, de uma escola particular, do estado de Minas Gerais. Os alunos tiveram oportunidade de vivenciar diferentes situações de ensino de Química, com tecnologias, e também de avaliar sobre seus aspectos relacionados à aprendizagem em Química. Os dados foram coletados por meio de questionários; gravações, em áudio e vídeo das atividades; elaboração de um planejamento das atividades de Química, envolvendo as tecnologias: quadro e giz, bolas de isopor e varetas e o *software ChemSketch*[®]. As análises foram feitas segundo duas perspectivas: (i) avaliação dos alunos a respeito da utilização de tais tecnologias e (ii) observações e registros realizados nos ambientes de aprendizagem. A partir dessas análises, é possível perceber que o desenvolvimento das atividades de forma combinada entre tecnologias favorece a aprendizagem para os educandos, visto que, desse modo, eles constroem as estruturas de forma mais adequada. Embora o *software* proporcionasse uma visualização melhor das estruturas das moléculas, os alunos não obtiveram um desempenho satisfatório, o que sugere que, na utilização do computador, o professor desempenha um papel fundamental.

Palavras-chave: Tecnologias, Química, Geometria Molecular

ABSTRACT

This study had as a principal aim, to investigate the use of different technologies in teaching Molecular Geometry and fundamentally, identify if the *software ChemSketch*[®] empowers or opposes the elaboration of more adequate models of chemical structures. To subsidize this study, it was needed to appeal to the quality research which resulted in a study of case. The study of the case was the procedure method which was adopted, aiming a 2nd high school class of 28 students, in a private school in the state of Minas Gerais. The students had the opportunity to deal with different situations while being taught chemistry with the use of technologies, and also to assess the aspects related to learning chemistry. The data was collected through questionnaires; recording of audio and video activities and the elaboration of a planning of the chemistry activities which involved the technology of blackboard and chalk, the technology of using isopor *Balls* and *Sticks* and the *software ChemSketch*[®]. The analyses were made following 2 perspectives: the evolution of the students due to the use of each of the technologies and the observations and registrations made in the learning environments. Regarding the analyses of the questionnaires, and the observations and registrations in the learning environments it was possible to realize that the development of the activities in a balanced way among the technologies supports the learning to students, due to the fact that it built the structures in a more adequate way. Although the *software* provided a better view of the molecules structures, the students did not come to a satisfactory performance, which suggests that in the use of the computer, the teacher performs a fundamental role.

Keywords: Technologies, Chemistry, Molecular Geometry

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Microcomputador TK-82C	19
Figura 2 – Hierarquia para representar uma molécula. Gasteiger (2003).....	28
Figura 3 – Modelo <i>Sticks</i> do benzeno	29
Figura 4 – Modelo <i>Balls e Sticks</i> do benzeno.....	29
Figura 5 – Modelo <i>Spacefill</i> do benzeno	30
Figura 6 – Fórmula estrutural completa do benzeno	30
Figura 7 – Fórmula estrutural condensada do benzeno.....	31
Figura 8 – Tela do <i>BKchem</i> ®	32
Figura 9 – <i>ChemDraw</i> ®	32
Figura 10 – <i>HyperChem 7</i> ®	34
Figura 11 – Tela do <i>HyperChem</i> ®	35
Figura 12 – Tela do <i>HyperChem Lite</i> ®	36
Figura 13 – <i>Pocket HyperChem</i> ®	37
Figura 14 – <i>Isis Draw</i> ®	38
Figura 15 – Tela do <i>ChemWindow</i> ® versão 6.0.....	39
Figura 16 – Tela do <i>AIM 2000</i> ®	40
Figura 17 – Tela do <i>Chem 4-D</i> ®	41
Figura 18 – <i>ChemSketch</i> ® - construindo a estrutura do 2-metil-1,3,5-trinitrobenzeno (TNT).....	42
Figura 19 - Visualização do <i>ACD/3D Viewer</i> – Representação Wireframe do TrinitroTolueno.....	43
Figura 20 - Visualização do <i>ACD/3D Viewer</i> – Representação <i>Sticks</i> do TrinitroTolueno	43
Figura 21 - Visualização do <i>ACD/3D Viewer</i> – Representação <i>Balls & Sticks</i> do TrinitroTolueno.....	44
Figura 22 -Visualização do <i>ACD/3D Viewer</i> – Representação <i>Spacefill</i> do TrinitroTolueno	44
Figura 23 -Visualização do <i>ACD/3D Viewer</i> – Representação <i>Dots Only</i> do TrinitroTolueno	44
Figura 24 - Visualização do <i>ACD/3D Viewer</i> – Representação <i>Disks</i> do TrinitroTolueno	45
Figura 25 - Visualização do <i>ACD/3D Viewer</i> – Representação <i>With Dots</i> do TrinitroTolueno.....	45
Figura 26 - Visualização do <i>ACD/3D Viewer</i> – Representação <i>With Dots e Balls & Sticks</i> do TrinitroTolueno.....	46
Figura 27 – Sequência de rotação da molécula do TrinitroTolueno	46
Figura 28 – Metano – CH ₄	52
Figura 29 – Hexafluoreto de enxofre – SF ₆	52
Figura 30 – Pentacloreto de fósforo– PCl ₅	53
Figura 31 – água – H ₂ O	53
Figura 32 – amônia – NH ₃	54

Figura 33 – Cloreto de berílio – BeCl_2	54
Figura 34 – Trifluoreto de boro– BF_3	54
Figura 35 – Eteno – C_2H_4	55
Figura 36 – Estudo de caso – Adaptado de Lüdke e André (1986).....	57
Figura 37 – Imagem da atividade com bolas de isopor.....	58
Figura 38 – Tela inicial do ScreenCam®	59
Figura 39 – ScreenCam® em funcionamento	60
Figura 40 – Alunos no início da atividade.....	69
Figura 41 – Material utilizado na pesquisa com bolas de isopor e varetas de madeira.....	72
Figura 42 – Alunos desenvolvendo a atividade com bolas de isopor	74
Figura 43 – Durante a atividade no laboratório de tecnologia educacional	76
Figura 44 – Atividade sendo desenvolvida no laboratório de tecnologia educacional.....	78
Figura 45 – Pesquisa sendo desenvolvida com a utilização do <i>software ChemSketch</i> ®.....	82
Figura 46 – Área de trabalho	93
Figura 47 – Dificuldade em salvar o trabalho	93
Figura 48 – Dificuldade em localizar a pasta de trabalho.....	94
Figura 49 – Tentando abrir mais de uma tabela periódica.....	95
Figura 50 – Criando mais de um composto na mesma área de trabalho	95
Figura 51 – Abria a área de trabalho e não construía nenhum composto.	96
Figura 52 – Tentava visualizar a estrutura mas não havia construído nenhuma	96
Figura 53 – Estruturas criadas que não existiam no trabalho proposto.	97
Figura 54 – Estrutura espacial que não apresentava os átomos de hidrogênio existentes no composto.	97
Figura 55 – Estrutura espacial que não apresentava os átomos de hidrogênio.....	98
Figura 56 – Estrutura espacial no <i>ACD/3D Viewer</i> que ocultava os átomos de hidrogênio.	98
Figura 57 – Montagem inadequada para o composto SF_6	99
Figura 58 – Montagem com 2 fragmentos de compostos	100
Figura 59 – Montagem de fórmula completamente diferente da solicitada.....	100
Figura 60 – Erro ao executar o <i>software</i> para construir uma molécula de gás ozônio - O_3	100
Figura 61 – Estrutura espacial do trióxido de enxofre - SO_3	101
Figura 62 – Estrutura espacial do dióxido de enxofre - SO_2	101
Figura 63 – Utilização da tabela periódica durante a atividade proposta.....	102
Figura 64 – Montagem de acordo com o modelo VSEPR para o SF_6	102
Figura 65 – Montagem de acordo com o modelo VSEPR para o PCl_5	103
Figura 66 – Montagem de acordo com o modelo VSEPR para o COCl_2	103
Figura 67 – PCl_3 segundo o aluno 7 (grupo D) na.....	110
Figura 68 – COCl_2 segundo o aluno 7 (grupo D) na tecnologia quadro e giz	111
Figura 69 – CS_2 segundo o aluno 4 (grupo D) na tecnologia quadro e giz	111
Figura 70 – Estrutura do PCl_5 construída pelo participante 4 (grupo C) com bola de Isopor.....	114
Figura 71 – Estrutura do PCl_5 construída pelo participante 1 (grupo C) com bola de Isopor.....	114

Figura 72 – Estrutura do CCl_4 construída pelo participante 5 (grupo C) com bola de Isopor.	115
Figura 73 – Estrutura do CCl_4 construída pelo participante 6 (grupo B) com bola de Isopor.....	115
Figura 74 – Estrutura do PCl_3 construída por um aluno (grupo B) com bola de Isopor	116

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição da amostra por gênero	62
Gráfico 2 – Atividade principal durante a semana	63
Gráfico 3 – Atividade principal no final de semana.....	63
Gráfico 4 – Conclusão do ensino fundamental.....	64
Gráfico 5 – Dificuldade em relação à utilização do <i>software</i>	84
Gráfico 6 – Execução das propostas na ordem solicitada	85
Gráfico 7 – Análise dos ângulos durante a atividade.....	85
Gráfico 8 – A utilização do <i>software</i> auxilia no entendimento de geometria molecular?	86
Gráfico 9 – A utilização do <i>software</i> ajuda a compreender e executar melhor as tarefas?	86
Gráfico 10 – Auto-avaliação do CS ₂ na visão do <i>software</i>	87
Gráfico 11 – Auto-avaliação do SF ₆ na visão do <i>software</i>	87
Gráfico 12 – Auto-avaliação do F ₂ na visão do <i>software</i>	88
Gráfico 13 – Auto-avaliação do CCl ₄ na visão do <i>software</i>	88
Gráfico 14 – Auto-avaliação do HCN na visão do <i>software</i>	89
Gráfico 15 – Auto-avaliação do COCl ₂ na visão do <i>software</i>	89
Gráfico 16 – Auto-avaliação do SO ₂ na visão do <i>software</i>	90
Gráfico 17 – Auto-avaliação do SO ₃ na visão do <i>software</i>	90
Gráfico 18 – Auto-avaliação do ClBr na visão do <i>software</i>	91
Gráfico 19 – Auto-avaliação do PCl ₃ na visão do <i>software</i>	91
Gráfico 20 – Auto-avaliação do PCl ₅ na visão do <i>software</i>	92
Gráfico 21– Opção “foi fácil” nos grupos D e A na pesquisa quadro e giz.....	104
Gráfico 22 – Auto-avaliação do composto CS ₂ pelos alunos na tecnologia quadro e giz	105
Gráfico 23 – Auto-avaliação do SF ₆ pelos alunos na tecnologia quadro e giz	105
Gráfico 24 – Auto-avaliação do F ₂ pelos alunos na tecnologia quadro e giz	106
Gráfico 25 – Auto-avaliação do CCl ₄ pelos alunos na tecnologia quadro e giz.....	106
Gráfico 26 – Auto-avaliação do HCN pelos alunos na tecnologia quadro e giz	107
Gráfico 27 – Auto-avaliação do SO ₂ pelos alunos na tecnologia quadro e giz	107
Gráfico 28 – Auto-avaliação do SO ₃ pelos alunos na tecnologia quadro e giz	108
Gráfico 29 – Auto-avaliação do ClBr pelos alunos na tecnologia quadro e giz.....	108
Gráfico 30 – Auto-avaliação do PCl ₃ pelos alunos na tecnologia quadro e giz.....	109
Gráfico 31 – Auto-avaliação do PCl ₅ pelos alunos na tecnologia quadro e giz.....	109
Gráfico 32 – Auto-avaliação do COCl ₂ pelos alunos na tecnologia quadro e giz.....	110
Gráfico 33 – Opção “foi fácil” nos grupos B e C na pesquisa com bola de isopor	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipo de geometria dos pares de elétrons e a geometria da molécula.....	49
Quadro 2 – Programação das atividades da pesquisa	57
Quadro 3 – A ordem de aplicação dos episódios de ensino	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição etária dos alunos em função do gênero (N=28)	62
Tabela 2 – Utilização do computador (N=28)	62
Tabela 3 – A Química no dia-a-dia dos alunos (N=28)	64
Tabela 4 – Atividade com quadro e giz - grupo A.....	69
Tabela 5 – Atividade com quadro e giz - grupo D.....	71
Tabela 6 – Atividade com varetas e bolas de isopor - grupo B	73
Tabela 7 – Atividade com varetas e bolas de isopor - grupo C	75
Tabela 8 – Atividade com o <i>software ChemSketch</i> - grupo C	78
Tabela 9 – Atividade com o <i>software ChemSketch</i> - grupo D	80
Tabela 10 – Atividade com o <i>software ChemSketch</i> - grupo A	81
Tabela 11– Atividade com o <i>software ChemSketch</i> - grupo B	83
Tabela 12 – Resultados com a opção “foi fácil” entre os grupos D e A na atividade quadro e giz	104
Tabela 13 – Resultados encontrados entre os grupos B e C – Tecnologia: bola de isopor e vareta.	112

LISTA DE SÍMBOLOS

$C_7H_5N_3O_6$	2-metil-1,3,5-trinitrobenzeno
CH_4	Metano
SF_6	Hexafluoreto de enxofre
PCl_5	Pentacloreto de fósforo
H_2O	Água
NH_3	Amônia
$BeCl_2$	Cloreto de berílio
BF_3	Trifluoreto de boro
C_2H_4	Eteno
I_2	Iodo
CS_2	Dissulfeto de carbono
F_2	Flúor
HCN	Cianeto de hidrogênio
$CIBr$	Brometo de cloro
SO_2	Dióxido de enxofre
CCl_4	Tetracloreto de carbono
SO_3	Trióxido de enxofre
$COCl_2$	Fosfogênio
PCl_3	Tricloreto de fósforo

SUMÁRIO

DA PRÁTICA À NECESSIDADE DA PESQUISA.....	18
MODELAGEM	26
REPRESENTAÇÃO EM 2D E 3D	27
TIPOS DE MODELAGENS	28
MODELAGEM <i>STICK</i>	29
MODELAGEM <i>BALLS E STICKS</i>	29
MODELAGEM <i>SPACEFILL</i>	30
FÓRMULA ESTRUTURAL	30
SOFTWARES DE MODELAGEM EM QUÍMICA	31
<i>BKCHEM</i> ®	31
<i>CHEMDRAW</i> ®	32
<i>CHEMDRAW ULTRA</i> ®	33
<i>CHEMDRAW PRO</i> ®	34
<i>HYPERCHEM 7</i> ®	34
<i>HYPERCHEM LITE</i> ®	35
<i>POCKET HYPERCHEM</i> ®	36
<i>ISIS DRAW</i> ®	37
<i>CHEMWINDOW</i> ®	39
<i>AIM2000</i> ®	40
<i>CHEM 4-D</i> ®	41
<i>CHEMSKETCH</i> ®	41
GEOMETRIA MOLECULAR – VSEPR.....	46
CAMINHOS METODOLÓGICOS	56
RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS.....	65
AULA DE QUÍMICA: TECNOLOGIA - QUADRO E GIZ	67
AULA DE QUÍMICA: TECNOLOGIA - VARETAS E BOLAS DE ISOPOR.....	72
AULA DE QUÍMICA: TECNOLOGIA - <i>SOFTWARE CHEMSKETCH</i> ®	76
ANALISANDO OS RESULTADOS ENCONTRADOS ENTRE OS GRUPOS A E D: <i>SOFTWARE CHEMSKETCH</i> ®	84
DIFICULDADES NA UTILIZAÇÃO DO <i>SOFTWARE CHEMSKETCH</i> ®	92
PONTOS POSITIVOS NA UTILIZAÇÃO DO <i>SOFTWARE</i>	101
ANALISANDO OS RESULTADOS ENCONTRADOS ENTRE OS GRUPOS D E A: QUADRO E GIZ	104
ANALISANDO OS RESULTADOS ENCONTRADOS ENTRE OS GRUPOS B E C: BOLAS DE ISOPOR	112
CONSIDERAÇÕES FINAIS	117

REFERÊNCIAS 119

DA PRÁTICA À NECESSIDADE DA PESQUISA

Em um mundo submetido ao impacto dos meios de comunicação e da alta tecnologia, a escola se vê desafiada a redefinir seus objetivos e suas práticas pedagógicas. Desse modo, os professores são confrontados de várias maneiras perante as demandas da contemporaneidade que exigem *“que a escola proponha dinâmicas pedagógicas que não se limitem a transmissão ou disponibilização de informações, inserindo nessas dinâmicas as tecnologias de informação e comunicação, de forma a reestruturar a organização curricular fechada e as perspectivas conteudistas que vêm caracterizando-a”*. (BONILLA, 2005, p. 91).

Nesse contexto, como professor de Ciências e Química do Ensino Básico, em escolas públicas e particulares, há mais de 24 anos, tenho vivenciado os inúmeros esforços em todos os níveis de intervenção no contexto escolar - incluindo órgãos e instâncias políticas - para introduzir as tecnologias de informação e comunicação na educação. E foram as próprias exigências vindas da sociedade atual, aliadas a minha preocupação com a melhoria do ensino de Ciências/Química, que começaram a impor-me uma necessidade de mudança nos processos de ensino-aprendizagem. Nesse sentido, mesmo inseguro diante do novo, ousei incorporar a informática nesses processos. Via nos recursos computacionais possibilidades de transformar a prática pedagógica, criando novas situações de aprendizagem que fossem mais significativas para os alunos. Entendia que era *“inegável a necessidade de introduzir as tecnologias na educação, até mesmo como forma de questionamento do paradigma tradicional de ensino ainda hegemônico no contexto educativo”* (SILVA, 2005, p. 33). Para isso, a preocupação primeira foi com minha formação, pois tinha os computadores em uma das escolas em que atuava, mas como fazer com que essa ferramenta apoiasse minhas atividades de ensino?

Assim, em 1985, fiz uma especialização, na UNIFRAN¹, em *“Tecnologia no ensino de ciências”* e comecei a me preocupar com a utilização dessas tecnologias no ensino, buscando uma forma de aplicá-las na melhoria dos processos de ensino-aprendizagem.

¹ UNIFRAN – União das Faculdades Francanas – Franca - SP

Em 1986, já exercendo o magistério como professor de Química, encontrei-me com os primeiros microcomputadores. Lembro claramente que adquiri um TK-82C², que pesava 340g e sua linguagem era o BASIC³.



Figura 1 – Microcomputador TK-82C

Era um computador pessoal, de pequeno porte, ideal para iniciantes que queriam aprender informática sem grandes investimentos. No seu interior, todos os circuitos eletrônicos eram compactados em 4 chips de circuitos integrados, acionados pelo microprocessador Z80A. Tinha memória ROM⁴ de 8Kb, memória RAM⁵ de 2Kb, expansível até 64 Kbytes através de cartuchos acoplados à parte posterior do micro. O teclado era do tipo membrana.

Na parte posterior da caixa, havia um soquete para a antena, uma parte da placa de circuito exposta, onde se podia conectar um gravador cassete. Não tinha chave interruptora; para ligá-lo, devia-se simplesmente conectar no alimentador. Para ver os resultados do seu trabalho, bastava ligá-lo em um aparelho de televisão, embora a imagem produzida era somente em preto e branco.

Em 1988 tive contato com o PC-XT⁶, cujo sistema operacional era o PC/MS-DOS, desenvolvido pela Microsoft para a IBM. A linguagem de programação continuava sendo o BASIC, mas com muito mais recursos de hardware.

² Produzido pela Microdigital Eletrônica Ltda - <http://www.mci.org.br/fabricante/microdigital.html>

³ BASIC - *Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code* foi criada por J. Kemeny e T. Kurtz em 1963 no Dartmouth College no intuito de tornar claro o ensino dos conceitos da programação.

⁴ ROM - *Read Only Memory* - Memória Apenas de Leitura

⁵ RAM - *Random Access Memory*, ou memória de acesso aleatório (randômico),

⁶ PC XT - *P*ersonal *C*omputer *e*Xtended *T*ecnology

Com o passar do tempo, o gosto e a inclinação por essa tecnologia aumentam e, na década de 90, trabalhei com o AT-286⁷, com memória cache, capaz de auxiliar o processador em suas funções. Mas os monitores eram monocromáticos, utilizando as telas com cores verde, laranja ou cinza.

Depois apareceram as máquinas 386, com a grande novidade de rodar sistemas operacionais mais avançados, como o *Windows 3.11*[®]. Começa uma verdadeira avalanche de máquinas, em uma velocidade incrível: o *486DX*, com as placas de vídeo SVGA, que poderiam atingir até 16 milhões de cores, novos sistemas operacionais: O *Windows 95*[®], *Windows 98*[®], as placas de rede, placas de memória e placas de vídeo. Concomitante a essa evolução estava a minha preocupação de como aplicar a nova tecnologia em sala de aula, de modo a levar para o aluno melhores e maiores condições de aprendizagem. Assim, em 1998, participei do Projeto de reformulação curricular e de capacitação de professores do Ensino Médio da rede estadual de Minas Gerais, oferecido pela Universidade Federal de Uberlândia em convênio com a Secretaria de Estado da Educação. Tal projeto tinha como preocupação a melhoria do ensino de Química.

Em 1999 participei de um curso de aperfeiçoamento em Informática aplicada à educação, ministrado pelo Núcleo de Tecnologia Educacional de Uberlândia (NTE-MG9), que era o passo inicial do ProInfo⁸, concluído no ano de 2000. Os objetivos desse curso eram voltados para as escolas: pretendia-se sensibilizá-las e motivá-las para incorporação da tecnologia de informações e comunicação; apoiá-las no processo de planejamento tecnológico, caso tivessem aderido ao projeto estadual de informática na educação, e capacitar-lhes os professores.

Novas teorias de aplicação da informática em sala de aula eram conhecidas, apesar de algumas bastante polêmicas, pois, para o ProInfo, o próprio professor é que deveria construir o seu material, e a base dos trabalhos era o *Microsoft Office*[®]. Nos novos laboratórios implantados pelo ProInfo hoje as máquinas são todas na plataforma *Linux*⁹.

⁷ PC AT - Personal Computer Advanced Technology

⁸ ProInfo – Programa Nacional de Informática na Educação

⁹ Sistema operacional - programa responsável pelo funcionamento do computador, que faz a comunicação entre hardware (impressora, monitor, mouse, teclado) e software (aplicativos em geral).

Logo depois foi instalado, na escola municipal em que trabalho, um laboratório de informática, onde dei meus primeiros passos na escola pública utilizando as tecnologias.

Em outubro de 2000, o Instituto Ayrton Senna lançou o concurso “Sua escola a 2000 por hora”, que doaria, um laboratório de informática para as escolas escolhidas. Havia chegado a hora de a escola estadual conseguir o seu laboratório de informática. Idealizamos e coordenamos um grupo de trabalho para a criação de uma revista eletrônica que comemoraria o centenário de Ituiutaba, mobilizando toda a comunidade escolar. A maior parte dos professores e alunos não tinham nenhuma informação sobre a aplicação da informática no cotidiano escolar. O professor Dr. Eduardo Chaves, membro do Instituto Ayrton Senna e professor da Unicamp, esteve na escola verificando o projeto e as condições para a sua aplicação. Infelizmente, fomos derrotados na última etapa, para a cidade de Araxá, e continuamos sem o laboratório, somente conseguindo-o no final de 2006.

Em 2002, fiz especialização *lato sensu* em informática em educação, na Universidade Federal de Lavras, onde apresentei a monografia “Construção de uma apostila multimídia de Química usando o *Microsoft PowerPoint®*”, orientado pelo prof. Dr. André Luiz Zambalde. A aplicação dessa apostila na escola municipal foi algo indescritível, pois via claramente, no olhar dos alunos, o deslumbramento com aquela ferramenta pedagógica, a interação com a máquina, que os motivava e fazia com que a aprendizagem fosse facilitada. As turmas que vivenciaram essa nova realidade apresentavam um interesse maior, comparadas com práticas de ensino anteriores.

Em 2005, concluí a especialização *lato sensu* em Química na Universidade Federal de Lavras apresentando a monografia “As Soluções e suas aplicações no cotidiano”, orientado pelo prof. Dr. Nadiel Massahud. A pesquisa propunha que o conhecimento de Química não é abstrato, mas intimamente relacionado ao mundo em que vivemos, evidenciando, desse modo, a possibilidade de se estabelecerem relações entre o cotidiano e o ensino do conteúdo em questão. O tópico trabalhado, geralmente ministrado na 2ª série do Ensino Médio, foi *Soluções*, cuja aprendizagem revela dificuldades por parte dos alunos, justamente pela ausência de elo entre o dia-a-dia dos educandos com o conteúdo proposto, tornando-o totalmente abstrato. A abordagem pedagógica corrente sugere que esse tópico se aprende por meio de memorizações e que não é

aplicável em situações cotidianas efetivamente vivenciadas pelos indivíduos de modo geral. O objetivo da pesquisa era demonstrar que, por meio de atividades experimentais, relacionadas ao cotidiano, poderíamos reduzir as dificuldades de aprendizagem. Na proposta de ensino foram utilizadas algumas soluções do cotidiano, como: solução de água boricada a 3%, gasolina (com 22% de álcool), água sanitária comercial (teor de hipoclorito de sódio) e soro glicosado a 5%. Elas foram empregadas em práticas para explorar aspectos relacionados à preparação de soluções diluídas. Um dos principais resultados do trabalho revelou que as atividades experimentais contribuíram para uma melhor compreensão do tema estudado pelos alunos.

Com o curso de especialização concluído e com desafios ainda a enfrentar, decidi dar continuidade aos meus estudos, de modo a aprofundar conhecimentos sobre os temas relacionados à informática e à educação. Na coordenação de um laboratório de informática educativa na escola, busquei sempre, na medida do possível, explorar o computador nas situações de ensino.

Como professor do Ensino Médio, me incomodavam algumas situações de ensino em que os alunos tinham dificuldades para aprender determinados tópicos do conteúdo de Química, o que me levava a buscar alternativas – elaborar novos materiais, propor estratégias, metodologias, entre outros - para melhoria das aprendizagens. Um dos tópicos era Geometria Molecular. Meus alunos apresentavam dificuldades em determinar a geometria das moléculas.

As aprendizagens sobre esse tópico são importantes, visto que os estudantes de Química apresentam dificuldades em relacionar a fórmula molecular, estrutura geométrica, propriedades e nomenclatura (JOHNSTONE, 1991; GABEL; BUNCE, 1994). Nesse sentido, é necessário que eles desenvolvam habilidades específicas para visualizar moléculas no espaço, facilitando a resolução de exercícios em Química Geral e principalmente em Química Orgânica (BARNEA; DORI, 1999; DORI, 1995; DORI; HAMEIRI, 1998). Para isto é preciso que a representação seja dinâmica, podendo, desse modo, aprimorar a visualização tridimensional. (SEDDON; SHUBBER, 1985; SEDDON; MOORE, 1986; TUCKEY et al., 1991).

Muitos estudantes, também, demonstram dificuldades em relacionar as combinações orgânicas (BROOK, 1988; RYLES, 1990; SCHMIDT, 1992; SHANI; SINGERMAN, 1982; SIMPSON, 1983). Nesse sentido, pesquisadores têm

apresentado diferentes abordagens instrucionais como apoio ao ensino de Química, adaptando estratégias de ensino baseadas na mudança conceitual (KRAJCIK, 1991), integrando atividades práticas com a sala de aula (JOHNSTONE; LETTON, 1990), utilizando modelos concretos (COPOLLO; HOUNSHELL, 1995) e o emprego das tecnologias como ferramentas de aprendizado (BARNEA; DORI, 1999; KOZMA; RUSSEL; JONES; MARX; DAVIS, 1996; WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001).

A utilização de modelos concretos aliados às tecnologias produz uma nova ferramenta de aprendizagem promissora (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001). De acordo com Taber (1997), existem concepções alternativas que podem ser adquiridas por experiência do dia-a-dia com o manuseio de objetos. Assim elas apresentam uma dificuldade maior para serem modificadas. Quando se refere às ligações químicas, devido ao seu grau de abstração, a dificuldade com o aluno aumenta, pois os mesmos não têm idéia sobre a forma como os átomos se ligam, dificultando a aprendizagem.

Segundo Giordan *“as representações dessas partículas submicroscópicas, cujo meio de veiculação pode variar desde o papel, passando pelos conjuntos plásticos, isopor e madeira, chegando à tela do computador ou à projeção holográfica. Varia-se o meio e também as formas de representação, nesse caso com o objetivo de destacar uma ou outra propriedade da molécula”*. (GIORDAN, 2005, p. 290).

As representações a que se refere o autor são fundamentalmente os modelos atômicos e moleculares utilizados para tornar possível a visualização de idéias complexas, processos e sistemas (BARNEA; DORI, 2000).

Desse modo, algumas perguntas me inquietavam: quais as tecnologias que poderiam ser exploradas em uma aula sobre Geometria Molecular? Como favorecer uma aprendizagem mais significativa e efetiva para os alunos sobre esse tema? Quais as possibilidades de as aprendizagens se efetivarem na integração das diferentes tecnologias? Será que a utilização do *software*¹⁰ ChemSketch®, como tecnologia de apoio ao ensino, ajudará os alunos a compreenderem melhor o tópico Geometria Molecular? Quais são as possibilidades na utilização dessa tecnologia? Em que difere de outras?

¹⁰ *Software*: Todo e qualquer conjunto de instruções executadas no computador. Sistema, aplicativo, programa, rotina.

Frente a tantas perguntas e inquietações, surge a necessidade de encontrar alternativas de mudanças em busca da criação de situações de ensino que proporcionassem aos alunos uma melhor compreensão sobre o tema em estudo.

Neste trabalho abordo a utilização de diferentes tecnologias de apoio ao ensino de Geometria Molecular, no Ensino Médio, destacando as dificuldades dos alunos na proposição de modelos. Meu objetivo é investigar a utilização de diferentes tecnologias no ensino de Geometria Molecular e, fundamentalmente, identificar se o *software ChemSketch*[®] potencia ou desfavorece a elaboração de modelos mais adequados de estruturas químicas.

Na tentativa de refletir sobre estas questões, tomo como pressupostos norteadores: que a utilização do computador, via *software ChemSketch*[®], proporciona mudança no processo ensino-aprendizagem, facilitando o estabelecimento de aprendizagem significativa; que a integração das tecnologias nos processos de ensino-aprendizagem potencia a construção do conhecimento.

A relevância deste estudo reside na possibilidade de contribuir para a reflexão sobre as diferentes tecnologias que podem ser exploradas numa outra lógica no ensino de Geometria Molecular, contrariando o modelo usual de transmissão e recepção.

Para apresentar os movimentos realizados nesse processo investigativo, dividi o trabalho em 5 partes.

Na primeira, **Da prática à necessidade da pesquisa**, apresento a trajetória que foi percorrida para a construção do trabalho de pesquisa.

Em **Modelagem e Geometria Molecular** apresento a importância da construção dos modelos, os *softwares* que podem ser utilizados e explico a importância do estudo sobre o tema.

Na terceira parte, **Caminhos Metodológicos**, apresento de forma sucinta o que é pesquisa qualitativa e estudo de caso. Ainda, descrevo os sujeitos, procedimentos adotados e a busca e construção de dados.

O **Resultados e Análise dos Dados**, quinta parte do trabalho, recebeu o nome de **Tecnologias e a elaboração de modelos utilizando diferentes tecnologias de apoio**. Aqui discuti sobre as situações de ensino com as diferentes tecnologias.

E, por fim, trago as **Considerações Finais** e esboço algumas recomendações com base nos resultados da pesquisa realizada, que sugerem que a utilização do *software*, principalmente associado a outras tecnologias pode facilitar as aprendizagens em Química, nomeadamente, em Geometria Molecular.

MODELAGEM

Uma forma de pensar sobre modelos é como instrumentos que relacionam a teoria com a suposta realidade.

Segundo Levine (1974), modelo pode ser definido como uma contribuição, uma ferramenta específica para compreender conceitos mais abstratos.

Ingham e Gilbert (1991) apresentam modelo como representação simplificada de um fenômeno no qual concentra a atenção em aspectos específicos e facilita o pensamento científico.

Conforme Hardwicke (1995), modelo é uma representação de um objeto ou de um conceito. A ciência busca investigar e representar o mundo natural para isso recorre à modelagem, tornando-se um dos aspectos centrais da ciência. Nesse sentido, a palavra “modelo” pode ter vários e diferentes usos.

Sant’anna (2002, p. 509) conceitua modelagem molecular como *“investigação das estruturas e das propriedades moleculares usando a química computacional e as técnicas de visualização gráfica visando fornecer uma representação tri-dimensional, sob um dado conjunto de circunstâncias”*.

Na esteira do debate, Santos (2001, p. 5) relata o domínio de atuação da modelagem molecular referindo-se *“a aplicação de modelos teóricos para representar e manipular a estrutura de moléculas, estudar reações químicas e estabelecer relações entre a estrutura e propriedades da matéria”*.

Segundo Gilbert e Boulter (1995), o modelo pode ser compreendido como uma representação parcial de uma idéia, objeto, processo ou fenômeno para um determinado sistema. A utilização de modelos e modelagem no ensino tem sido um tema constante de pesquisa na área de educação (GILBERT; BOULTER, 2000).

Tiberghien (1994) dedicou-se a avaliar as formas e os resultados de modelização no ensino de ciências. Nersessian (1995) questiona até que ponto o conhecimento das práticas de pensamento dos cientistas pode auxiliar na elaboração de estratégias pedagógicas. Essas pesquisas apontam para a importância da utilização dos modelos na aprendizagem de conteúdos científicos.

REPRESENTAÇÃO EM 2D E 3D

Segundo Gasteiger (2003), a representação¹¹ 2D (bidimensional) é o idioma universal natural dos químicos. Para o autor esses diagramas de estrutura são modelos e são projetados para fazer as moléculas mais concebíveis. Neles, os átomos são caracterizados pelos símbolos e os elétrons unidos, valendo-se de linhas. Porém o diagrama da estrutura química é incompleto, pois simplifica a representação da molécula ao demonstrar somente átomos unidos e o tipo de ligação existente.

A representação 3D (tridimensional) apresenta uma quantidade maior de informações, como a posição dos átomos no espaço, o ângulo e a distância entre eles na construção da molécula.

Gasteiger (2003) afirma que no início foram dados nomes a determinadas combinações para que pudessem ser caracterizadas. Na maioria dos casos eram nomes usuais que ainda são empregados. Assim, passaram a utilizar símbolos para abreviar esses nomes, criando uma classificação sistemática de combinações.

A teoria da estrutura e novas técnicas experimentais trouxeram um entendimento melhor para a estrutura da molécula, combinando os diagramas de estruturas famosas e o arranjo em 3D das moléculas, conforme figura 2 (GASTEIGER, 2003. p. 17).

¹¹ A origem do termo é do século XIII, chamando-se *représentation* aos manequins de cera exibidos junto ao cadáver dos reis franceses e ingleses durante as cerimônias funerárias. O manequim tinha a função de lembrar aos presentes que o rei havia assumido uma outra forma e que uma nova vida se iniciava para o morto. Dessa forma, apesar de morto o rei continuaria presente para seus súditos ("*re + présentation*") (GINZBURG, 2001).

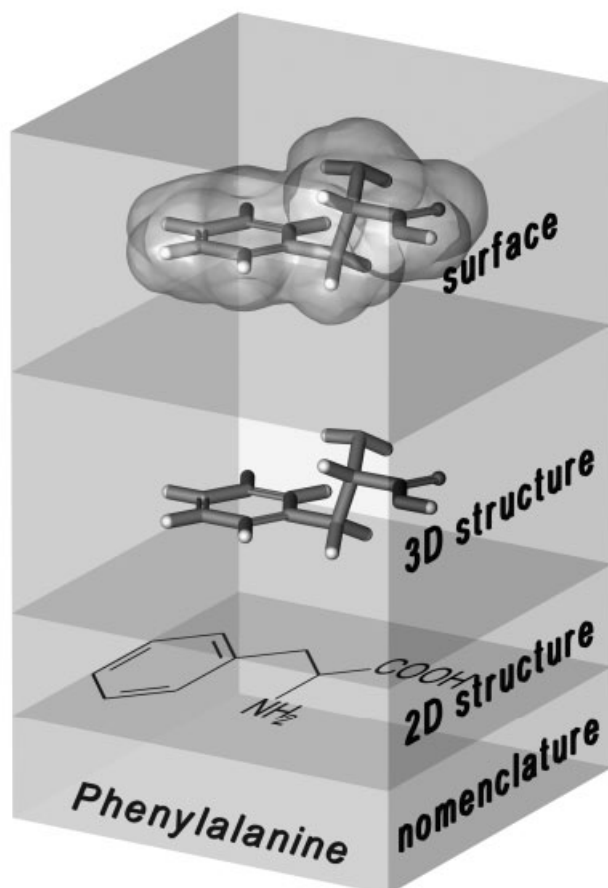


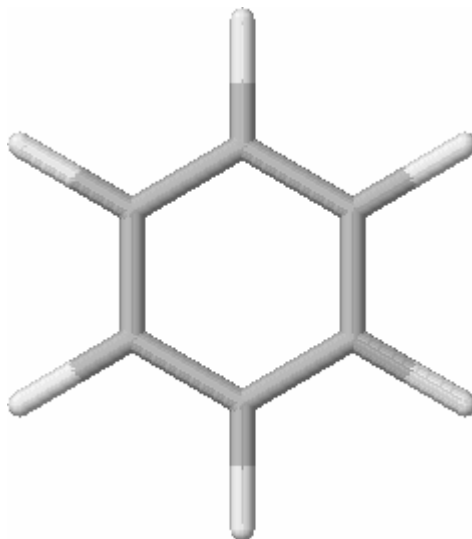
Figura 2 – Hierarquia para representar uma molécula. Gasteiger (2003)

Uma das metas mais importantes na utilização de *softwares* de modelagem é que ele deve representar as estruturas químicas e transferir os vários tipos de representação para os *softwares*, facilitando a visualização da estrutura.

São introduzidas quatro informações básicas: nomenclatura usual, nomenclatura sistemática, anotação química e matemática para as estruturas químicas a serem estudadas.

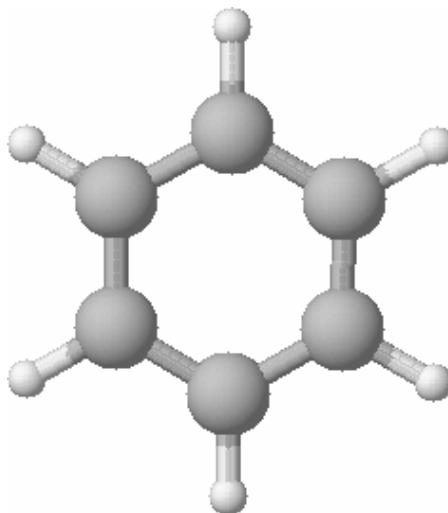
TIPOS DE MODELAGENS

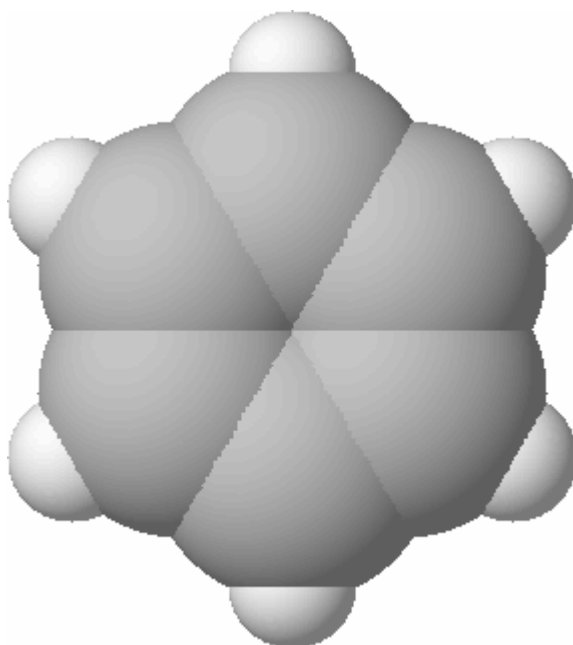
As representações mais utilizadas em Química, como referência em publicações ou livros didáticos, são as modelagem *stick* (figura 3), *balls* e *stick* (figura 4) e *spacefill* (figura 5).

MODELAGEM *STICK*Figura 3 – Modelo *Sticks* do benzeno**MODELAGEM *BALLS E STICKS***

Segundo Milagres (2001), o modelo “pau e bola” pode ser ótimo modelo de ensino, pois permite que os alunos “observem” os átomos. O problema é que essas representações são bidimensionais, dificultando a visualização tridimensional.

De acordo com Whitten (2003), os modelos de “pau e bola” usam bolas de cores diferentes para representar átomos e traços para representar as ligações.

Figura 4 – Modelo *Balls e Sticks* do benzeno

MODELAGEM SPACEFILLFigura 5 – Modelo *Spacefill* do benzeno**FÓRMULA ESTRUTURAL**

A fórmula estrutural, também conhecida como fórmula estrutural plana ou fórmula estrutural de Couper, demonstra as ligações entre os elementos, sendo cada par de elétrons entre dois átomos representado por um traço. Indica os átomos, a proporção entre eles, bem como as ligações covalentes existentes, que podem ser assim representadas como estrutural completa e condensada.

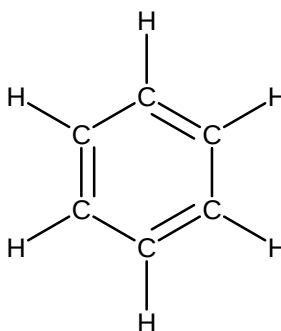


Figura 6 – Fórmula estrutural completa do benzeno

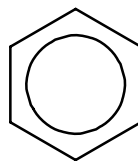


Figura 7 – Fórmula estrutural condensada do benzeno

SOFTWARES DE MODELAGEM EM QUÍMICA

Atualmente, pesquisadores (ANJOS; GIORDAN, 2004; ANJOS, 2004; WU et al, 2001; KIBOSS, 2002; CHANG, 2001; EICHLER; DEL PINO, 2006) têm se dedicado a estudar a importância e os resultados da utilização de ferramentas computacionais em ensino-aprendizagem de Química.

Na Educação Química, nos últimos dez anos, houve um verdadeiro salto na produção de *softwares* educacionais, abrangendo diversas áreas do conhecimento químico.

Para desenvolver a pesquisa foram analisados alguns *softwares* de química que pudessem auxiliar no desenvolvimento da temática Geometria Molecular, tais como:

BKCHEM[®]

BKchem[®] é um *software* livre¹² multiplataforma (*Windows*, *GNU* e *Linux*) que serve para representar estruturas químicas. É escrito na linguagem de programação *Python*¹³ e desenvolvido por Beda Kosata.

¹² Disponível em <<<http://bkchem.zirael.org/index.html>>>. Acessado em 16 novembro 2006.

¹³ Python é uma linguagem que foi elaborada por Guido Van Rossum em 1991 para o ensino de programação. Ela é orientada a objetos. É intuitiva e quem aprende uma vez, nunca se esquece, pois é muito próxima de um pseudo-código. Formada por grandes comunidades, é amplamente utilizada nos meios acadêmico, software livre, pesquisa (Google, NASA), jogos (Disney), dentre outros.

Um *software* útil, principalmente para as escolas de ensino médio que estão recebendo laboratórios de informática que rodam somente na plataforma *Linux*.

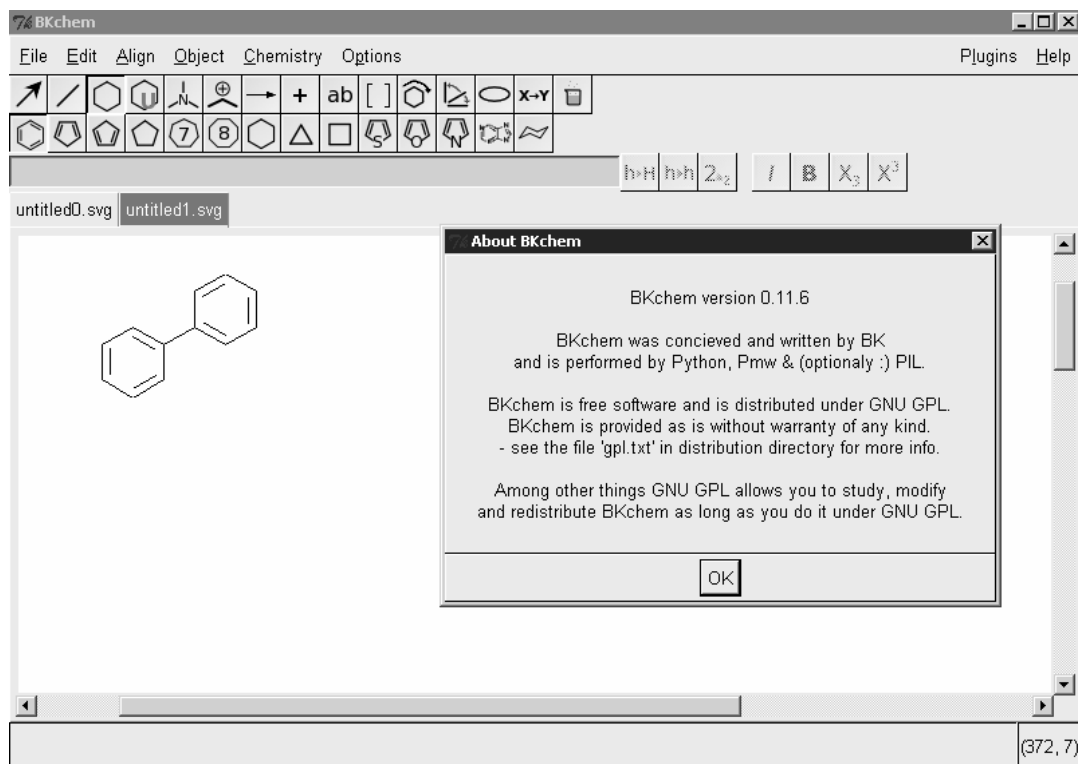


Figura 8 – Tela do *BKchem*[®]

Apresenta limitações no processo de visualização em 3D, o que dificultou a aplicação neste trabalho.

CHEMDRAW[®]

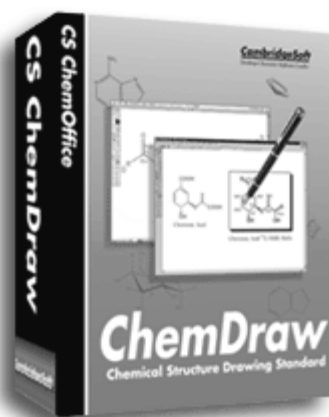


Figura 9 – *ChemDraw*[®]

ChemDraw[®] é uma das mais importantes ferramentas de *software* para desenho de estrutura no padrão de publicação. Produzido pela *CambridgeSoft Corporation*¹⁴, recomendado pela *American Chemical Society* para suas publicações, tem capacidade de importar e exportar os mais diferentes formatos de arquivo para sistemas *Windows* e *Mac*. Pode ser adquirido como item de um pacote completo (*ChemOffice*) ou com opções de custo e benefícios, tais como *ChemDraw Ultra*[®] e *ChemDraw Pro*[®].

Apresenta fácil integração com o usuário, facilitando a sua utilização. Tem uma tabela periódica que pode auxiliar nas consultas e na elaboração das estruturas químicas.

O alto custo desse software inviabiliza a sua utilização nos laboratórios de informática das escolas, principalmente por terem opções em que o custo/benefício é bem mais interessante.

CHEMDRAW ULTRA[®]

O *ChemDraw Ultra*[®] é um conjunto de vários softwares que contém o *ChemDraw Pro*[®] e os seguintes recursos adicionais:

- Nome e Estrutura;
- Estrutura e Nome (*Autonom - Beilstein's*);
- Previsão de Ressonância Magnética Nuclear (*ChemNMR H e C*);
- *Chem3D Standard*, versão 5.0;
- *ChemFinder Standard*, versão 5.1.

O alto custo desse software inviabiliza a sua utilização nos laboratórios de informática das escolas, principalmente por terem opções em que o custo/benefício é bem mais interessante.

¹⁴ Disponível em <http://www.cambridgesoft.com/>. Acessado em 16 mar 2006.

CHEMDRAW PRO®

É outra opção apresentada, pois contém o *ChemDraw®* Standard e os recursos adicionais:

- Editora e espectros, estruturas e anotações na mesma página;
- Propriedades Físico-Química: BP, Energia Livre *Gibbs*, Calor de formação, índice de refração e outros;
- *ISIS/Draw* compatível (copie e cole);
- Mostra espectro no formato SPC e JCAMP;
- *ClipArt* (vidraria e outros) *ChemDraw Standard*;
- Exporta no padrão de publicação da ACS:TIFF;PNG;
- Estereoquímica.

É uma versão mais simples, com menos recursos que as outras versões do software. A maior dificuldade é que roda na plataforma *Windows®*, ficando incompatível com os atuais laboratórios de informática das escolas públicas que utilizam o sistema operacional *Linux®*.

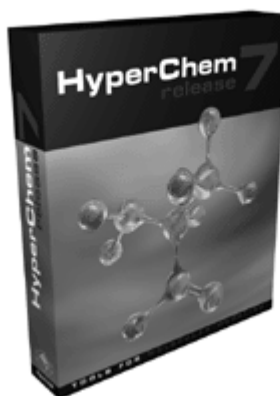
HYPERCHEM 7®

Figura 10 – *HyperChem 7®*

O software *HyperChem®* é um ambiente de modelagem molecular sofisticado, conhecido pela sua qualidade, flexibilidade e facilidade no manuseio. Une a visualização 3D (figura 11) e a animação com cálculos de mecânica quântica,

mecânica molecular, e dinâmica. É produzido pela *Hypercube, Inc*¹⁵. Pode ser feita uma avaliação do *software* durante 30 dias¹⁶.

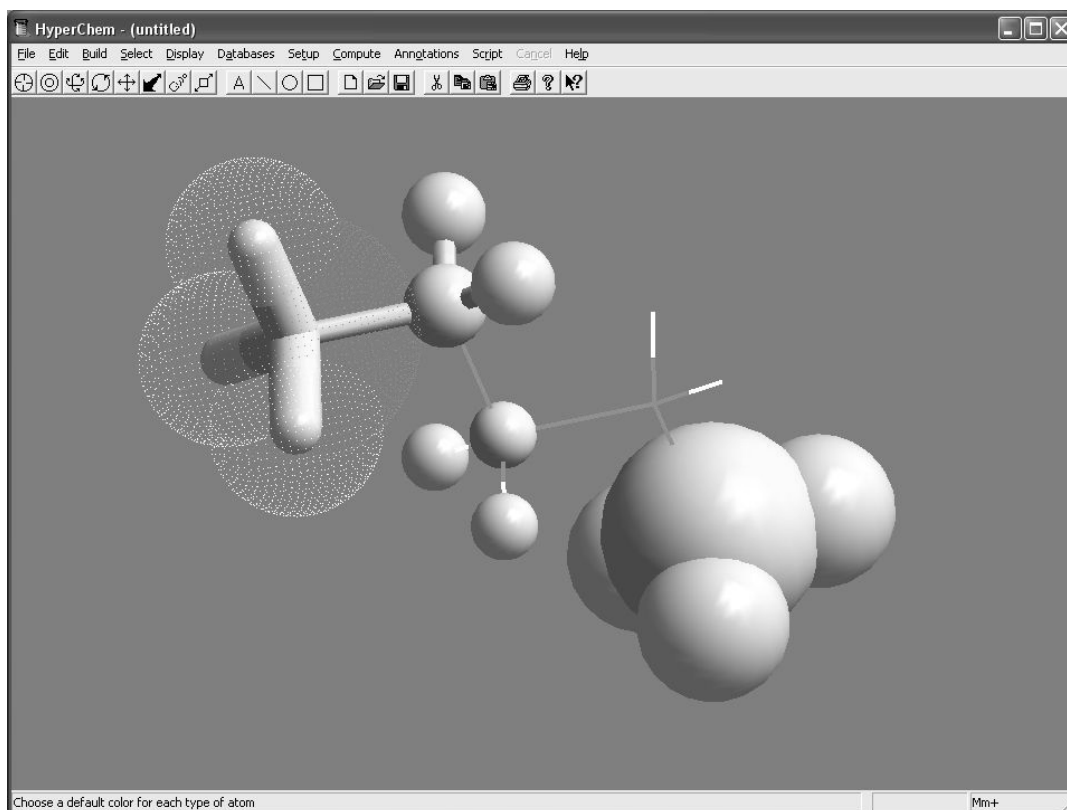


Figura 11 – Tela do *HyperChem*[®]

O *HyperChem*[®] é bastante utilizado profissionalmente, com uma grande quantidade de informações, o que dificulta o acesso dos alunos a sua interface.

HYPERCHEM LITE[®]

HyperChem Lite[®] é um produto de modelagem molecular flexível (figura 12) para pesquisadores, educadores e estudantes. Possui capacidades de visualização, análise e simulação de moléculas.

¹⁵ www.hyper.com. Acessado em 16 mar 2006.

¹⁶ Disponível em <<http://www.hyper.com/products/evaluation/hyper75/default.html>> acessado em 14 mar 2006.

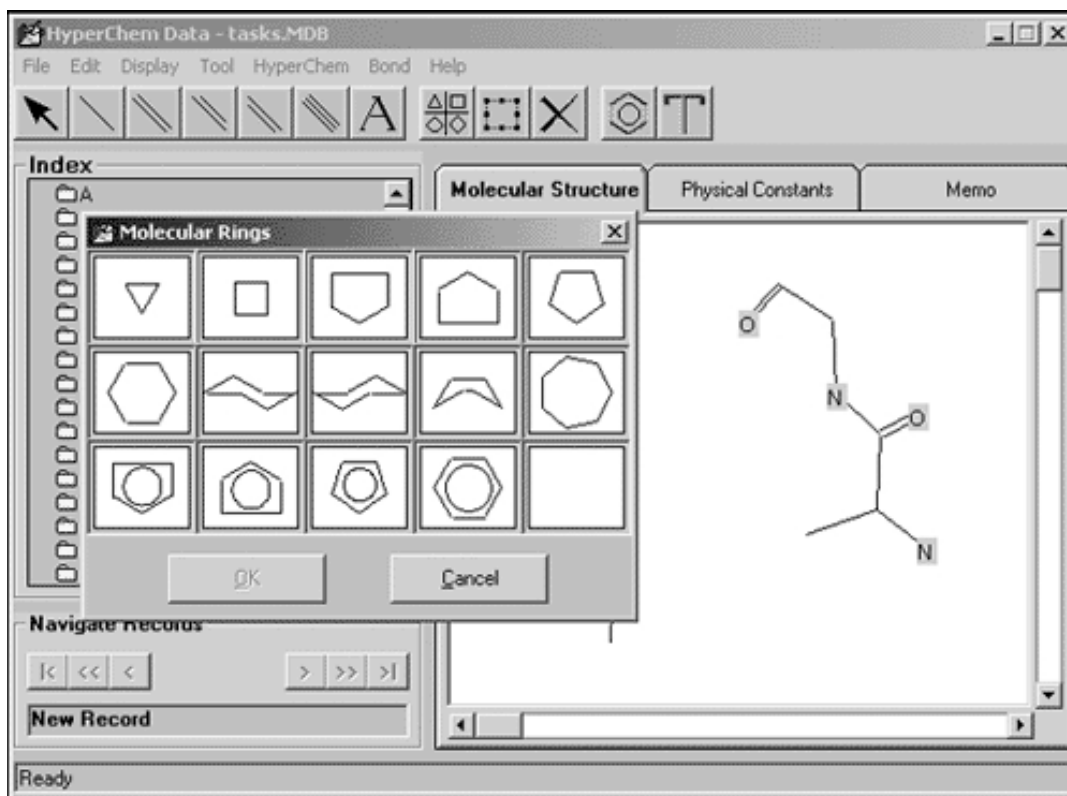


Figura 12 – Tela do HyperChem Lite®

É executado somente na plataforma *Windows*®, o que dificulta a sua utilização nos laboratórios de informática das escolas públicas, que rodam o sistema operacional *Linux*®.

POCKET HYPERCHEM®

O *Pocket HyperChem*® fornece modelagem molecular básica e a funcionalidade química computacional do *HyperChem* na plataforma do *Palmtop PC* (figura 13). Um pacote para a previsão do NMR *spectra dimensional*. *HyperNMR* pode ser usado como único produto ou em conjunto com o *HyperChem*.



Figura 13 – Pocket HyperChem®

É uma versão do *HyperChem*® utilizada em computadores portáteis – Palmtop, dando uma funcionalidade e praticidade ao produto.

Nas escolas públicas e particulares esse tipo de equipamento não é comum. Nesse sentido, tem uma população-alvo bastante restrita.

ISIS DRAW®

Isis Draw® é um *software* de estruturas químicas que permite construir fórmulas químicas, visualizar em 2D e 3D (figura 14), além de inserir, em documentos de texto, apresentações e páginas de internet.

O *software Isis Draw*® é gratuito, mas é obrigatório o registro no site do distribuidor, pois o contrato, embora permita o seu uso integral para ensino, não permite a sua distribuição.

É um sistema integrado de informação científica e contém uma escala de banco de dados projetada para deparar-se com as necessidades da gerência de informação na Literatura Química.

O software é parte de um conjunto composto pelo “*Isis Desktop*”, que inclui um modelo padronizado com editoração computacional e também o “*Isis Base*”, um sistema químico com estrutura de orientação na base de dados.

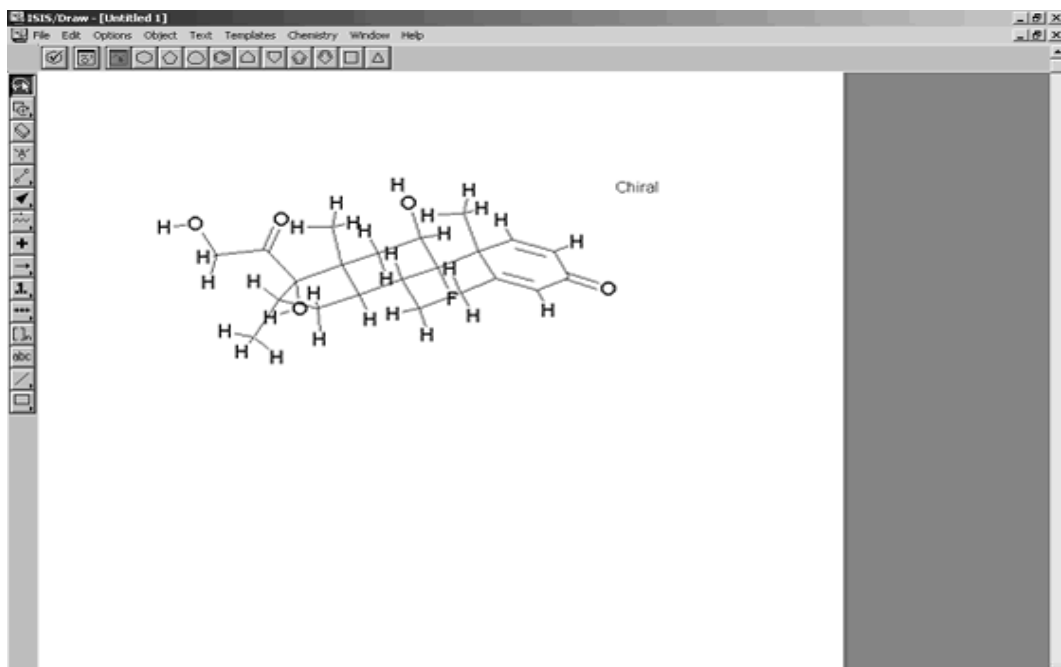


Figura 14 – Isis Draw®

O *software* é do tipo “*freeware*” e é direcionado à construção de moléculas químicas, estruturas químicas e reações químicas, dispondo de uma interface gráfica flexível, recursos de edição e estruturas de apoio à composição de figuras e diagramas diversos.

As figuras geradas pelo *software* podem ser coladas em documento tipo *Microsoft Word*®, sendo facilmente alteradas, clicando sobre a figura para que a mesma seja aberta, de forma automática e editada no programa *Isis Draw*®.

O *software* ainda é composto por ferramentas que permitem a visualização de moléculas orgânicas em distintas dimensões.

Roda na plataforma *Windows*®, inviabilizando assim a sua utilização nos laboratórios das escolas públicas, que rodam *Linux*®.

CHEMWINDOW[®]

O *ChemWindow[®]* desenvolvido pela *KnowItAll[®] Informatics System¹⁷*, é projetado para o químico que necessita extrair estruturas químicas e publicar os relatórios profissionais completos com as estruturas, os espectros, as reações químicas, as instalações da experiência do laboratório, os diagramas da engenharia química, as tabelas dos dados.

Desenvolvido somente para *Windows 2000[®]* e *XP[®]*, necessita de 512 MB de memória RAM, um processador *Pentium IV* (ou equivalente) de pelo menos 3 GHz, 500 MB de espaço livre no disco rígido, além de uma placa de vídeo que suporta *OpenGL¹⁸*.

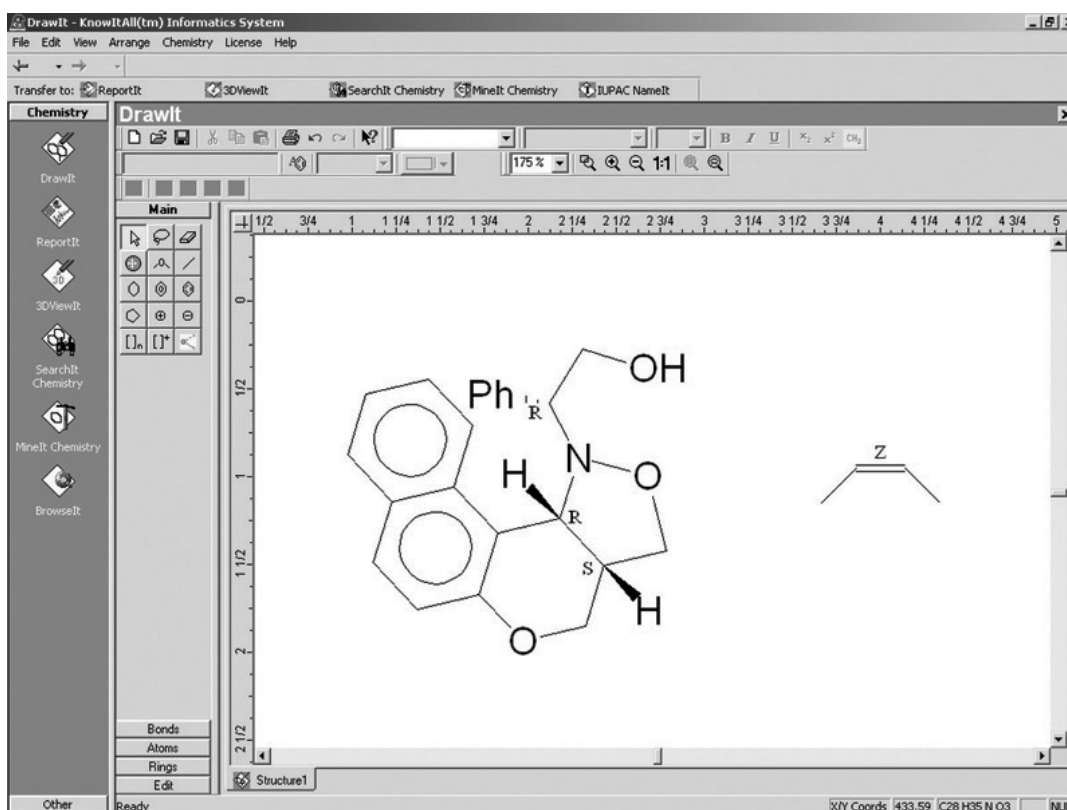


Figura 15 – Tela do *ChemWindow[®]* versão 6.0

Não há também nenhuma versão de *Macintosh*, de *Unix* ou de *Linux* para o *software*, o que dificulta a sua utilização nos laboratórios de informática das escolas de ensino médio que trabalham na plataforma *Linux*.

¹⁷ Disponível em <http://www.bio-rad.com>. Acessado em 15 mar 2006.

¹⁸ *OpenGL* é uma biblioteca de rotinas gráficas para trabalhar em duas e três dimensões.

AIM2000[®]

O AIM2000[®] é um *software* de análise e visualização de átomos e moléculas, desenvolvido por Friedrich Biegler-König e Jens Schönbohm¹⁹. Sua versão de demonstração é bastante limitada, trabalhando no máximo com 8 núcleos e 14 orbitais. Apresenta um arquivo de ajuda e um projeto de exemplo.

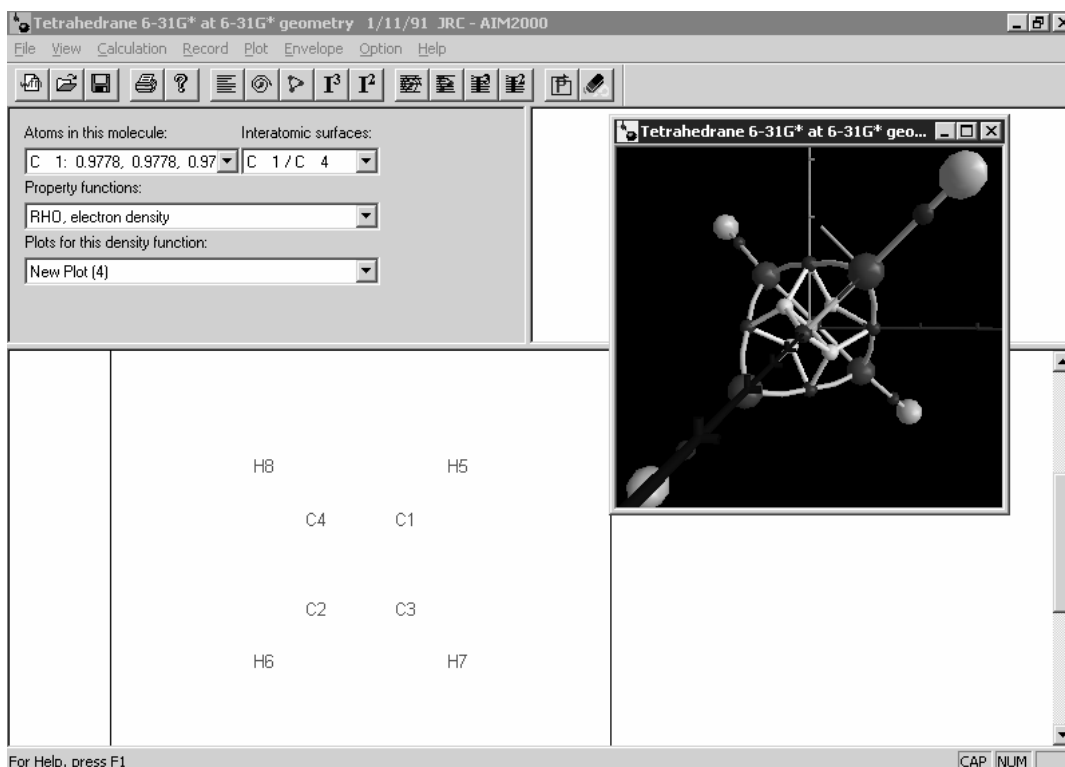


Figura 16 – Tela do AIM 2000[®]

A última versão foi lançada em 2002 (figura 16) e roda nas plataforma Windows[®] 95, 98, Millenium, NT 4, 2000 e XP. Necessita de um processador *pentium* II ou superior, com pelo menos 64 MB de memória RAM.

¹⁹ Disponível em <http://www.aim2000.de>. Acessado em 18 mar 2006.

CHEM 4-D[®]

Chem 4-D é um software²⁰ de análise e construção de compostos orgânicos (figura 17), tem uma versão de demonstração que roda por 30 dias no computador e é produzido para rodar na plataforma *Windows[®]* 95/98/NT/2000/Me/XP. Roda em qualquer processador superior a 386 e necessita de 2Mb de memória *RAM* e 4 Mb de espaço livre no disco rígido.

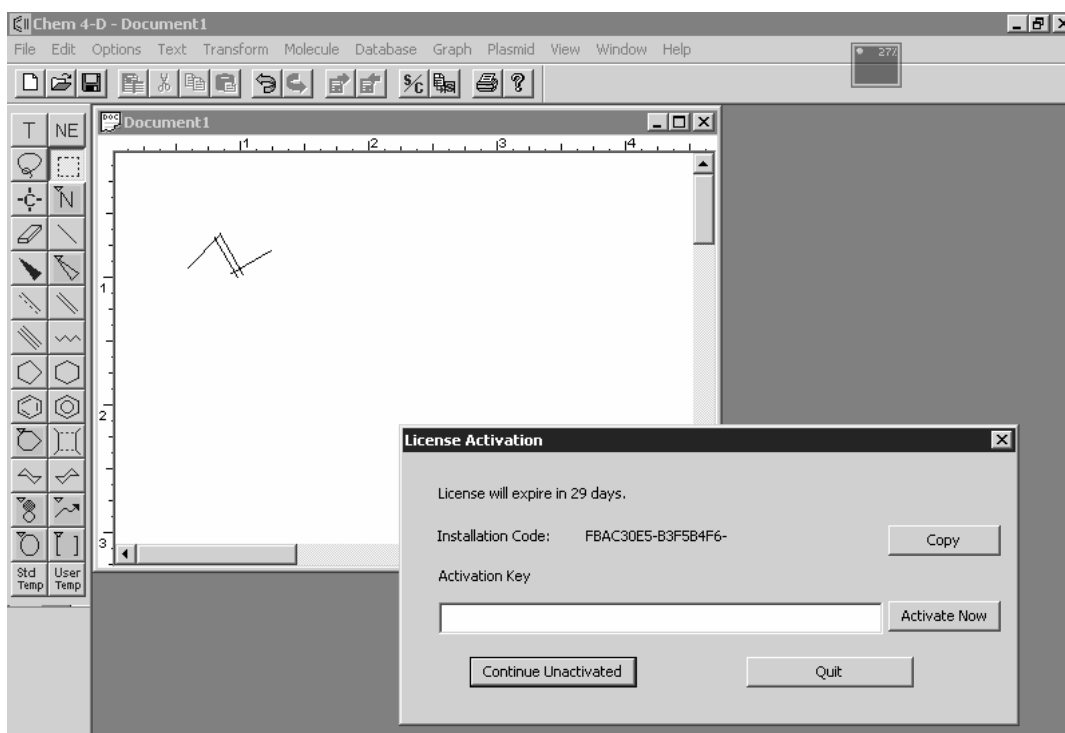


Figura 17 – Tela do *Chem 4-D[®]*

É uma ferramenta de fácil utilização, com uma ótima interface gráfica, todavia não roda na plataforma *Linux[®]*, o que inviabiliza a sua utilização nas escolas.

CHEMSKETCH[®]

ChemSketch[®] é um software desenvolvido pela *ACD/LABS - Advanced Chemistry Development, Inc.*²¹ - para ser rodado na plataforma *Windows[®]*, podendo

²⁰ Disponível em <http://www.cheminnovation.com/products/chem4d.asp>. Acessado em 16 mar 2006.

²¹ Disponível em <http://www.acdlabs.com>. Acessado em 16 mar 2006.

ser baixado da Internet por professores ou alunos e usado para construir equações químicas, estruturas moleculares e esquemas de aulas práticas, com determinada facilidade.

Esse *software* incorpora avançadas características, como a capacidade de girar moléculas no espaço, visualizá-las de diferentes maneiras (figura 18). Há uma versão comercial incompatível com a versão livre, pois somente esta é liberada para professores e estudantes.

Para que seja instalado, o *software* necessita que o computador tenha um processador *Pentium* ou compatível de pelo menos 1 GHz, espaço livre no disco rígido de pelo menos 20 MB, plataforma *Windows 2000 (Service Pack 4)*, *Windows XP (Service Pack 2)* ou *Windows Server 2003 (Service Pack 1)*, com um mínimo de 512 MB de memória *RAM* e uma placa de vídeo *VGA*²² com resolução mínima de 800x600²³ em 256 cores.

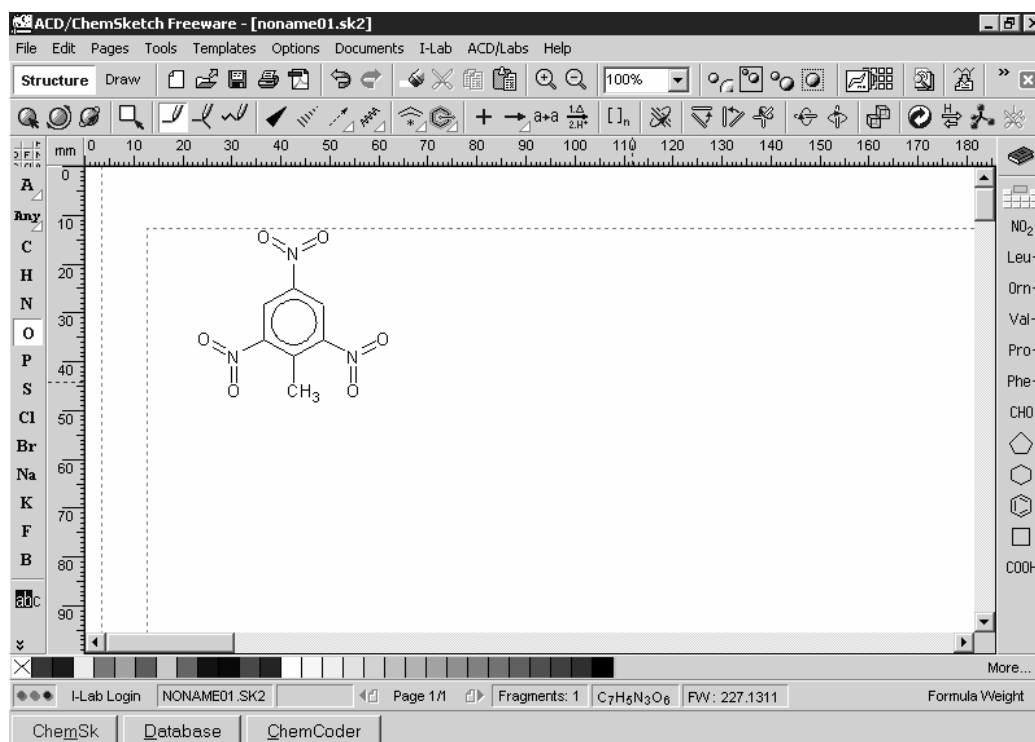


Figura 18 – *ChemSketch*[®] - construindo a estrutura do 2-metil-1,3,5-trinitrobenzeno (TNT)

²² *VGA* é a sigla para **V**ideo **G**raphics **A**rray. Trata-se de um padrão que representa a resolução do vídeo mais as cores suportadas. Existiram muitos outros padrões, mas, como durante um bom tempo os computadores usaram poucas cores (2 a 8), o *VGA* trouxe um grande avanço, pois proporcionou imagens com resolução de 640x480 e 256 cores. Posteriormente, o *VGA* foi aperfeiçoado e passou a suportar resoluções de até 800x600 com 16 cores. O *VGA* também era compatível com padrões mais antigos, o que permitia o funcionamento correto de programas que surgiram antes do *VGA*.

²³ 800 pontos na horizontal e 600 pontos na vertical. Quanto maior for a quantidade de pontos (*pixels*), melhor será a definição da imagem na tela.

Além da estrutura plana, o *ChemSketch*[®] possui um módulo de geração e visualização de moléculas em 3D, o *ACD/3D Viewer*[®], que apresenta várias formas de representação de uma estrutura química:

- **Wireframe**: Tipo de representação 3D que mostra a molécula na forma de “linhas” (figura 19);

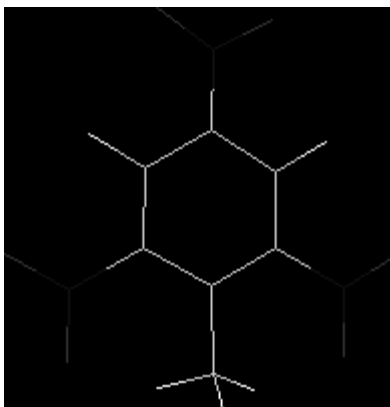


Figura 19 - Visualização do *ACD/3D Viewer* – Representação Wireframe do TrinitroTolueno

- **Sticks**: Tipo de representação 3D que mostra a molécula na forma de “varas” (figura 20);

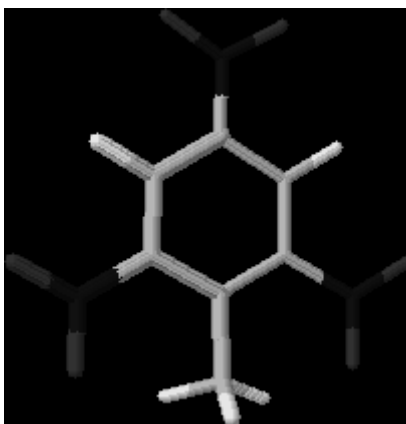


Figura 20 - Visualização do *ACD/3D Viewer* – Representação Sticks do TrinitroTolueno

- **Balls & Sticks**: Tipo de representação 3D que mostra a molécula na forma “bolas e varas” (figura 21);

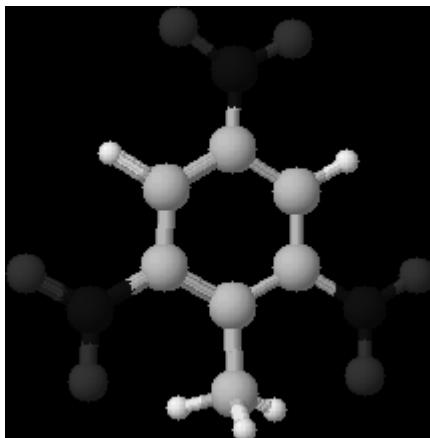


Figura 21 - Visualização do ACD/3D Viewer – Representação *Balls & Sticks* do TrinitroTolueno

- **Spacefill:** Tipo de representação 3D que mostra os espaços vazios da molécula “preenchidos” (semelhante ao modelo Stuart) (figura 22);

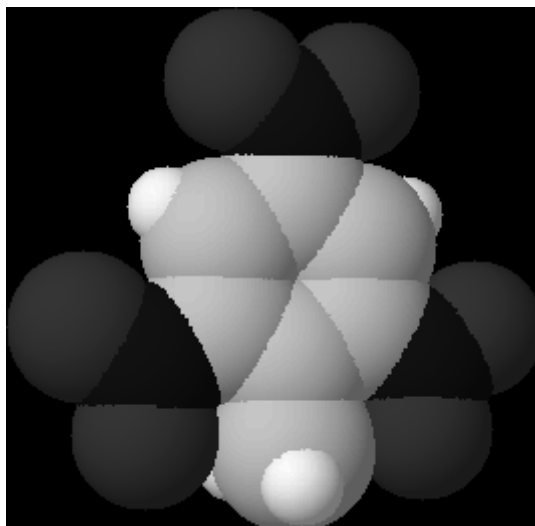


Figura 22 -Visualização do ACD/3D Viewer – Representação *Spacefill* do TrinitroTolueno

- **Dots Only:** Tipo de representação 3D que mostra “somente pontos” representando os átomos e ligações da molécula (figura 23);

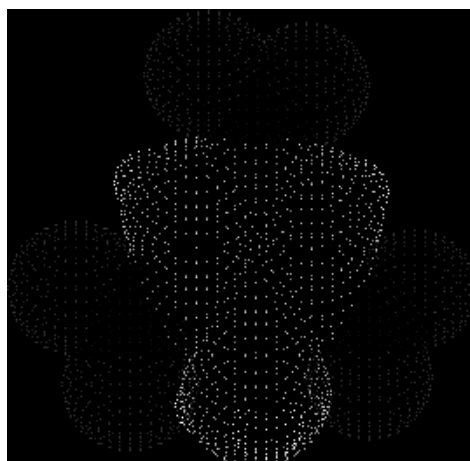


Figura 23 -Visualização do ACD/3D Viewer – Representação *Dots Only* do TrinitroTolueno

- **Disks:** Tipo de representação que mostra os átomos na forma de discos, muito semelhante à forma *Spacefill*, porém sem o efeito 3D (figura 24);

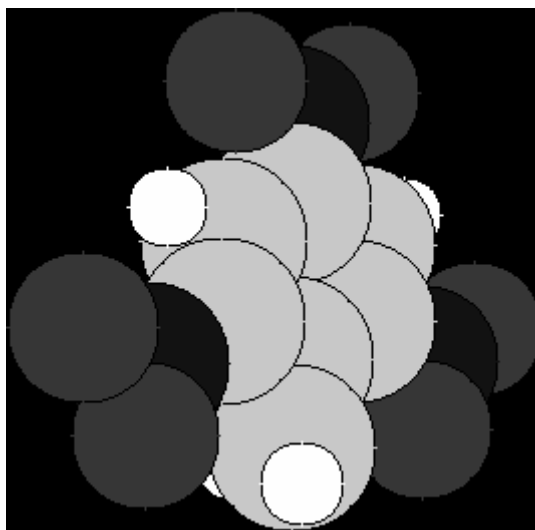


Figura 24 - Visualização do ACD/3D Viewer – Representação *Disks* do TrinitroTolueno

- **With Dots:** Marcado mostra os “pontos” da representação 3D em qualquer forma de visualização (figura 25).

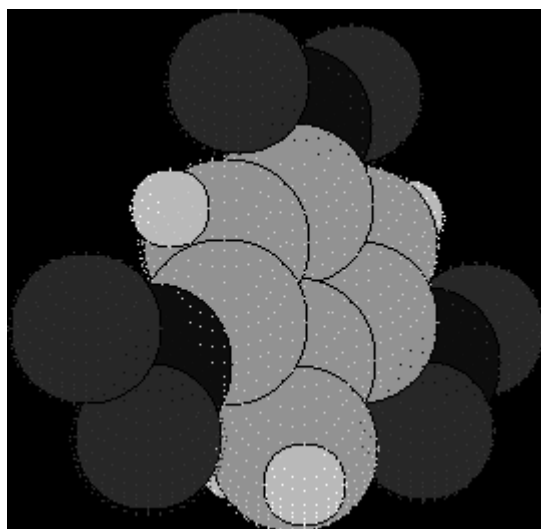


Figura 25 - Visualização do ACD/3D Viewer – Representação *With Dots* do TrinitroTolueno

- **With Dots** combinando com **Balls & Sticks** (figura 26)

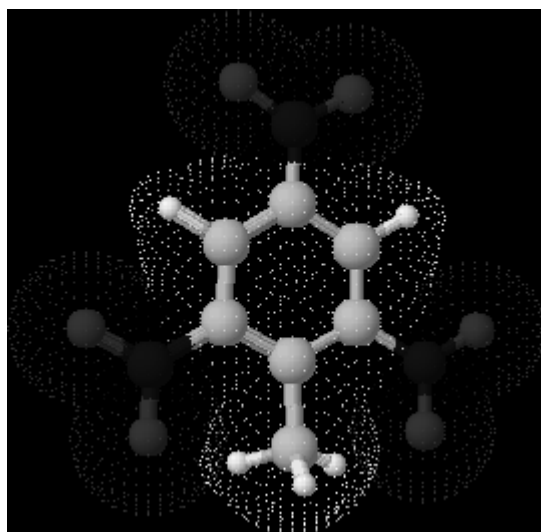


Figura 26 - Visualização do ACD/3D Viewer – Representação *With Dots* e *Balls & Sticks* do Trinitro-Tolueno

O *ChemSketch*® foi escolhido para ser utilizado em situações de ensino por ser um *software* com fácil interação com o usuário, compatível com a maioria de editores de texto existente no mercado e que tem uma ótima capacidade para girar as moléculas, facilitando a visualização da geometria (figura 27).

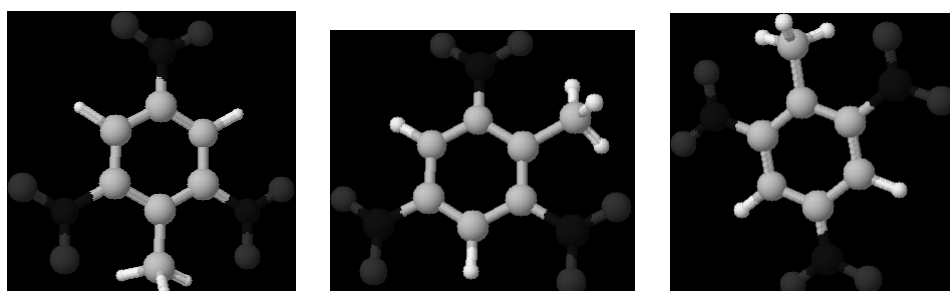


Figura 27 – Seqüência de rotação da molécula do TrinitroTolueno

GEOMETRIA MOLECULAR – VSEPR

Prever a Geometria Molecular é fundamental para a identificação da polaridade de uma molécula. Esta, por sua vez, permite inferir sobre o tipo e intensidade das interações intermoleculares que podem ser estabelecidas entre moléculas no composto puro, ou com átomos, ou moléculas de outras substâncias. Contudo, a previsão da Geometria Molecular, até de moléculas simples, representa freqüentemente um problema que muitos alunos do Ensino Médio e, por vezes, do superior, não conseguem superar (BIRK; KURTZ, 1999; FURIÓ; CALATAYUD, 1996). Essas dificuldades estão usualmente relacionadas com a suposta

necessidade de determinar, previamente, a estrutura de Lewis (ou a fórmula estrutural) para as moléculas, observando a quantidade de elétrons que cada elemento apresenta no seu nível mais externo.

A discussão mais simples da ligação covalente se baseia no compartilhamento dos pares de elétrons. Isso foi introduzido por Gilbert Lewis, em 1916. Ele propôs que a ligação covalente é formada quando dois átomos vizinhos compartilham um par de elétrons. Um único par de elétrons compartilhados é simbolizado por A–A; ligações duplas, por dois pares ($A=A$) e ligações triplas, por três pares ($A\equiv A$). Pares de elétrons de valência não compartilhados em átomos são denominados pares isolados. Embora esses pares de elétrons isolados não contribuam diretamente para a ligação, eles influenciam na forma da molécula e em suas propriedades químicas.

Segundo Shriver (2003), Lewis percebeu que poderia justificar a existência de um grande número de moléculas, propondo a regra do octeto: *“cada átomo compartilha elétrons com seus vizinhos para atingir um total de oito elétrons de valência”*.

A regra do octeto fornece uma forma simples de construir a estrutura de Lewis, que mostra o padrão de ligações e os pares isolados em uma molécula. Para isso, deve-se proceder da seguinte forma:

- Determinar o número de elétrons que podem ser incluídos na estrutura, somando todos os elétrons de valência fornecidos pelos átomos;
- Escrever os símbolos químicos dos átomos no arranjo, mostrando quais são unidos;
- Distribuir os elétrons em pares, de forma que haja um par de elétrons entre cada par de átomos unidos e, então, acrescentar pares de elétrons até que cada átomo tenha o seu octeto.

A geometria tridimensional das moléculas é determinada pela orientação relativa de suas ligações covalentes. A idéia do modelo VSEPR foi primeiro explorado pelos químicos ingleses Nevil Sidgwick e Herbert Powell em 1940.

Sidgwick e Powell sugeriram ser possível prever a forma aproximada de uma molécula com base no número de pares de elétrons na camada de valência do átomo central, no caso de moléculas que contêm somente ligações simples. O seu

método de previsão tem como base a minimização da repulsão dos pares de elétrons, isto é, a orientação dos orbitais deve ser tal que as distâncias entre elas sejam o maior possível. Segundo eles:

- Dois pares de elétrons mostram um máximo no seu afastamento quando os respectivos orbitais se dispõem linearmente, formando um ângulo de 180° ;
- Moléculas onde o átomo central tem três pares de elétrons na sua camada de valência têm estrutura triangular-planar com ângulos de 120° ;
- No caso de quatro pares de elétrons, a molécula tem a estrutura de um tetraedro. O ângulo de ligação é de 109° ;
- Quando o átomo central apresenta cinco ou seis pares de elétrons, a molécula tem uma estrutura trigonal bipirâmidal (com ângulos de 120° e 90°) ou uma estrutura de octaedro (com ângulos de 90°), respectivamente.

Em 1957 o químico Ronald Gillespie, baseando-se em trabalhos prévios de Sidgwick e Powell, criou uma ferramenta muito simples para prever a geometria das moléculas, tendo uma maior exatidão na Geometria Molecular.

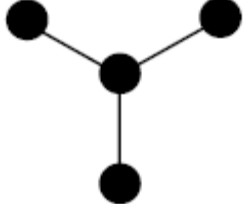
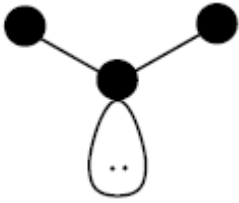
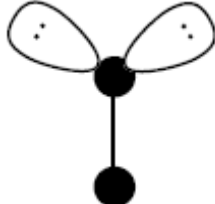
A teoria recebeu o nome de *Valence Shell Electron Pair Repulsion Theory* (VSEPR) ou Teoria de Repulsão dos Pares Eletrônicos de Valência e se baseia em um simples argumento de que os grupos de elétrons se repelem uns com os outros e a forma adotada pela molécula será aquela em que a repulsão dos grupos eletrônicos seja mínima (GILLESPIE, 2004; GILLESPIE; ROBINSON, 1996).

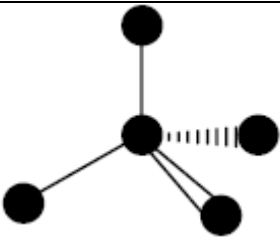
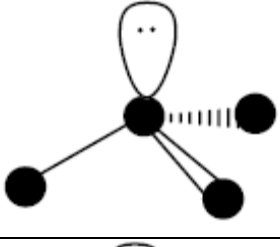
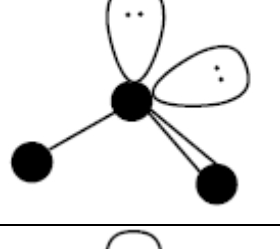
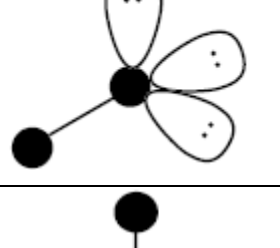
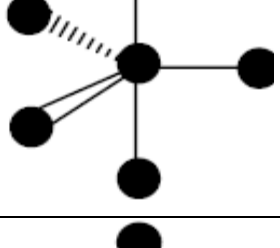
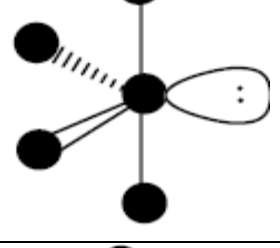
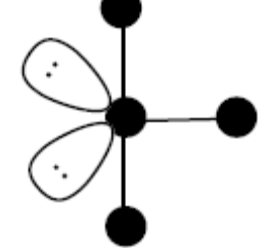
Segundo a Teoria de Repulsão dos Pares Eletrônicos de Valência (VSEPR):

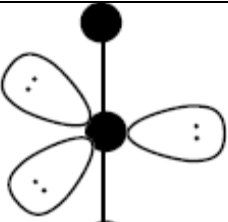
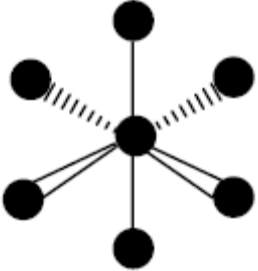
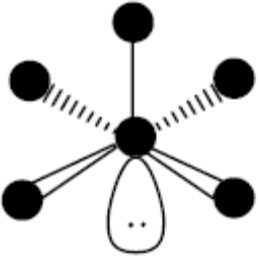
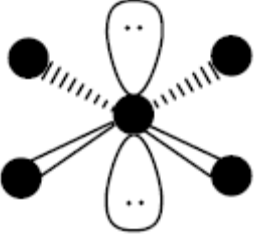
- O arranjo das ligações à volta de um átomo central depende do número de elétrons existentes;
- A forma da molécula é determinada pela repulsão entre todos os pares de elétrons presentes na camada de valência. O arranjo preferencial é aquele em que tem lugar a minimização da repulsão entre as diferentes orbitais (maximização da distância entre elas). Esse aspecto já havia sido introduzido anteriormente por Sidgwick e Powell;

- O par de elétrons livres ocupa maior espaço que um par de elétrons ligantes, pois este último está sujeito à ação de dois núcleos, enquanto o par de elétrons livres tem maior liberdade. A repulsão entre dois pares de elétrons livres é maior que a repulsão entre um par de elétrons livres e um par ligante ou mesmo entre dois pares ligantes. Como consequência, a presença de pares de elétrons livres na molécula força os pares ligantes a ocuparem um menor espaço, aspecto que causa uma distorção dos ângulos ideais da ligação. Na presença de pares de elétrons livres, o ângulo entre pares ligantes passa a ser menor.

Quadro 1 – Tipo de geometria dos pares de elétrons e a geometria da molécula.

Número total de pares de elétrons em torno do átomo central	Número de Pares Isolados	Geometria dos pares de elétrons	Geometria da molécula	Representação
2	0	Linear	Linear	
	1	Linear	Linear	
3	0	Trigonal Planar	Trigonal Planar	
	1	Trigonal Planar	Angular	
	2	Trigonal Planar	Linear	

4	0	Tetraédrica	Tetraédrica	
	1	Tetraédrica	Piramidal	
	2	Tetraédrica	Angular	
	3	Tetraédrica	Linear	
5	0	Bipirâmide trigonal	Bipirâmide trigonal	
	1	Bipirâmide trigonal	Gangorra	
	2	Bipirâmide trigonal	Forma "T"	

	3	Bipirâmide trigonal	Linear	
6	0	Octaedro	Octaedro	
	1	Octaedro	Pirâmide da base quadrada	
	2	Octaedro	Quadrado planar	

Segundo Atkins (2006), pode-se descrever o VSEPR:

- Regiões de alta concentração de elétrons ocupam posições que as afastam o máximo possível;
- Todas as ligações se repelem da mesma maneira, independentemente de serem simples, duplas ou triplas;
- A ligação em torno de um átomo central não depende do número de “átomos centrais” da molécula;
- Os pares de elétrons isolados contribuem para a forma da molécula, embora eles não sejam incluídos na descrição da forma molecular;
- Os pares de elétrons isolados exercem uma repulsão maior do que os pares de elétrons de ligação e tendem a comprimir os ângulos de ligação.

Em muitos casos, os ângulos de ligação, isto é, os ângulos entre as linhas retas que unem os núcleos ao átomo central, são determinados pela simetria da molécula. Dessa forma, o ângulo HCH no metano (CH_4) é $109,5^\circ$ (ângulo do tetraedro), pois apresenta quatro pares ligantes no átomo central. Para ficarem o mais afastado possível, os quatro pares devem estar em um arranjo tetraédrico em torno do átomo de carbono. Como o arranjo de elétrons é tetraédrico e um átomo de hidrogênio liga-se a um dos pares de elétrons, produz-se uma forma tetraédrica para a molécula, sendo confirmada experimentalmente.

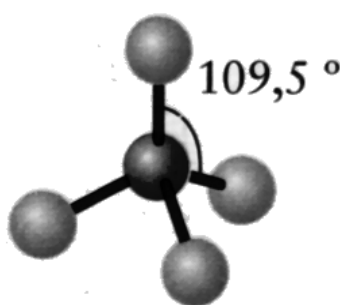


Figura 28 – Metano – CH_4

Os ângulos SFS de hexafluoreto de enxofre (SF_6) são 90° e 180° , pois a molécula tem seis átomos de flúor ligado ao átomo central (enxofre), que não apresenta pares de elétrons isolados. Dessa forma, o arranjo é octaédrico, com quatro pares nos vértices de um quadrado planar e os dois outros pares acima e abaixo do plano do quadrado.

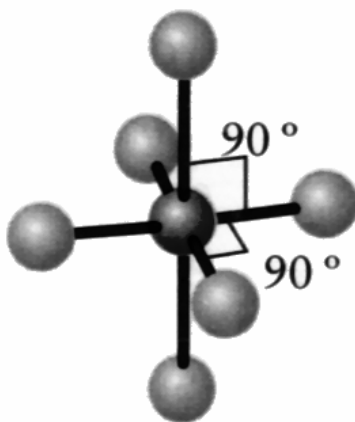


Figura 29 – Hexafluoreto de enxofre – SF_6

Os ângulos ClPCl no pentacloreto de fósforo (PCl_5) são 90° , 120° e 180° , pois na molécula existem cinco pares ligantes e nenhum par isolado no átomo central. Mantendo a maior distância possível, pode-se obter um arranjo bipirâmide trigonal, onde três átomos estão nos cantos de um triângulo equilátero e os outros dois acima e abaixo do plano formado pelo triângulo. Esta estrutura tem três ângulos de ligações diferentes, confirmada experimentalmente.

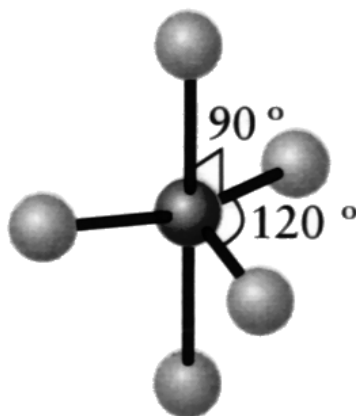


Figura 30 – Pentacloreto de fósforo– PCl_5

No caso de moléculas cujos ângulos de ligação não são determinados pela simetria, como as angulares ou em pirâmide trigonal, eles têm que ser determinados experimentalmente. O ângulo de ligação da molécula angular de água (H_2O), por exemplo, é, experimentalmente, igual a $104,5^\circ$, e o ângulo da molécula de amônia (NH_3), uma pirâmide trigonal, é 107° . A técnica mais utilizada para determinar os ângulos de ligação de pequenas moléculas é a espectroscopia (principalmente a rotacional e a vibracional). Quando as moléculas são maiores, utiliza-se a difração de raios X.

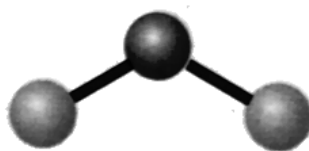
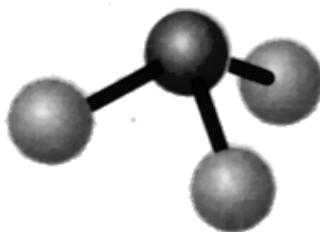
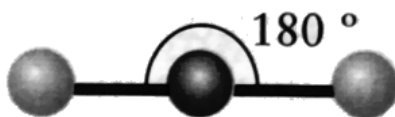


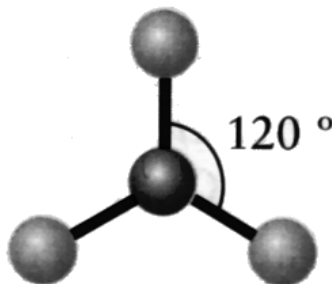
Figura 31 – água – H_2O

Figura 32 – amônia – NH_3

O cloreto de berílio (BeCl_2) é uma molécula com apenas dois átomos ligados ao átomo central. Não existem pares de elétrons isolados no átomo central. A posição em que os pares ligantes estão o mais afastado possível é quando eles se encontram em lados opostos. Dessa forma o ângulo de ligação ClBeCl é de 180° e a forma foi confirmada experimentalmente.

Figura 33 – Cloreto de berílio – BeCl_2

A molécula trifluoreto de boro (BF_3) apresenta três pares ligantes no átomo central e não existem pares isolados. Segundo o modelo VSEPR, para ficarem afastados o máximo possível, os três pares ligantes devem se posicionar nos vértices de um triângulo equilátero. O arranjo dos elétrons é trigonal planar e os três ângulos FBF são iguais a 120° , um arranjo confirmado experimentalmente.

Figura 34 – Trifluoreto de boro – BF_3

No modelo VSEPR as ligações simples e múltiplas são tratadas como equivalentes. Exemplo disso é o eteno (etileno), cuja fórmula molecular é C_2H_4 .

Existem dois centros a serem considerados no eteno: os dois átomos de carbono. Cada átomo de carbono apresenta três regiões de concentração de elétrons: duas ligações simples e uma ligação covalente dupla. Não apresenta pares de elétrons isolados. O arranjo ao redor de cada átomo de carbono é trigonal planar, apresentando assim ângulos de 120° , confirmado experimentalmente.

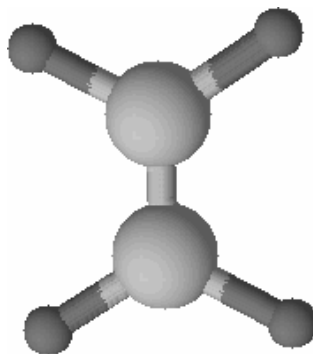


Figura 35 – Eteno – C_2H_4

O modelo VSEPR não consegue prever exatamente o ângulo, mas pode criar um parâmetro indicando que ele será menor que o valor nominal. Na determinação do valor real, deve-se medir experimentalmente ou calcular utilizando a equação de Schrödinger numericamente em um computador.

Segundo Russel (2006), um erro comum cometido por quem usa o método VSEPR é confundir a orientação espacial de um conjunto de pares de elétrons com a forma molecular ou geometria da molécula.

CAMINHOS METODOLÓGICOS

Este estudo insere-se na perspectiva de uma proposta metodológica fundamentada em uma abordagem qualitativa do tipo estudo de caso que, segundo Ludke e André (1986, p. 13), *“envolve a obtenção de dados descritivos, obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada, enfatiza mais o processo que o produto e se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes”*. Tal opção apóia-se no fato de esse tipo de pesquisa assumir várias formas e poder ser conduzida em múltiplos contextos (BOGDAN; BICKLEN, 1994), apresentando as seguintes características básicas, apontadas por Ludke e André (1986): visa à descoberta; enfatiza a interpretação em contexto; retrata a realidade de forma completa e profunda; usa uma variedade de fontes de informações; revela experiência vicária e permite generalizações naturalísticas²⁴; relata o estudo com uma linguagem e forma acessível ao leitor.

Trata-se de um estudo de caso *“por se constituir numa unidade dentro de um sistema mais amplo”* (LUDKE; ANDRÉ, 1986, p. 17). A escolha dessa estratégia de pesquisa se deu em função da possibilidade de aprofundamento do caso²⁵ e, ao mesmo tempo, de possíveis generalizações²⁶ das experiências observadas no campo da pesquisa (LAVILLE; DIONNE, 1999; LUDKE; ANDRÉ, 1986).

²⁴ “A generalização naturalística ocorre em função do conhecimento experiencial do sujeito, no momento em que este tenta associar dados encontrados no estudo com dados que são frutos das suas experiências pessoais” (LUDKE; ANDRÉ, 1986, p. 19).

²⁵ “Essa profundidade ligada ao caso particular não exclui, contudo, toda forma de generalização” (LAVILLE; DIONNE, 1999, p. 157).

²⁶ “É verdade que as conclusões de tal investigação valem de início para o caso considerado, e nada assegura, a priori, que possam se aplicar a outros casos. Mas também nada o contradiz: pode-se crer que, se um pesquisador se dedica a um dado caso, é muitas vezes porque ele tem razões para considerá-lo como típico de um conjunto mais amplo do qual se torna o representante, que ele pensa que esse caso pode, por exemplo, ajudar a melhor compreender uma situação ou um fenômeno complexo, até mesmo um meio, uma época” (LAVILLE; DIONNE, 1999, p. 156).

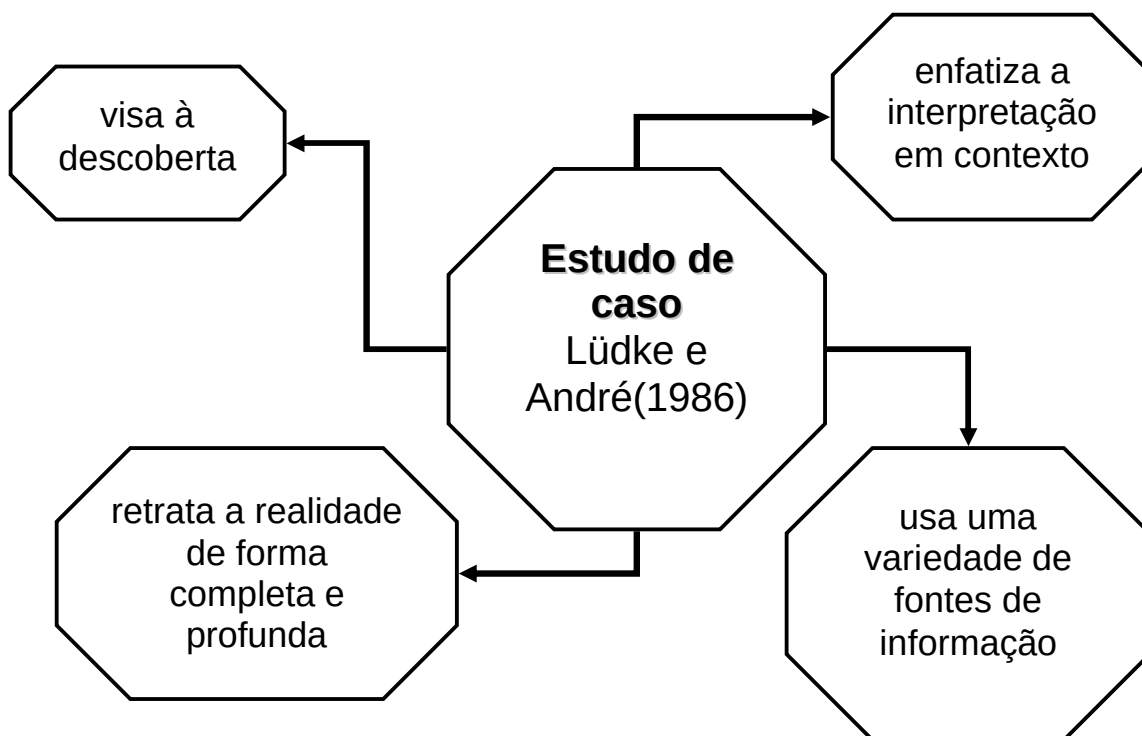


Figura 36 – Estudo de caso – Adaptado de Lüdke e André (1986)

PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Ao dar início à investigação, o primeiro passo para concretizar a tarefa foi organizar situações de ensino com diferentes tecnologias de apoio. Para isso, foram escolhidas três (3) tecnologias de apoio ao ensino, de Geometria Molecular, em uma turma de 28 alunos, da 2ª série do Ensino Médio. As atividades propostas foram executadas de acordo com o quadro:

Quadro 2 – Programação das atividades da pesquisa

	Quadro e giz	Bolas de Isopor	Software <i>ChemSketch</i> ®
Grupo A	1º		2º
Grupo B		1º	2º
Grupo C		2º	1º
Grupo D	2º		1º

Nas três atividades, os compostos utilizados foram os mesmos. Para o desenvolvimento do trabalho investigativo foram organizadas três situações de ensino sobre a mesma temática em três ambientes de aprendizagens diferentes. As tecnologias quadro e giz foram utilizadas na sala de aula; as bolas de isopor, no laboratório de Química; e o *software ChemSketch*[®], no laboratório de tecnologia educacional da escola.

No decorrer das atividades, foram empregados diferentes instrumentos de investigação: questionário, vídeos, fotografias e *software Lotus ScreenCam*[®]²⁷.

O questionário foi usado com o objetivo de obter informações diretamente do aluno, por meio de um formulário, com 25 questões, visando delinear um perfil desse aluno e verificar suas habilidades com as tecnologias. Esse procedimento, realizado com 28 alunos, que integravam o grupo a ser pesquisado, configurou-se como um dos instrumentos essenciais para a investigação.

As gravações em vídeo dos estudantes pretenderam registrar as imagens de como os alunos realizavam as atividades propostas. Foram prejudicadas pela dificuldade em capturar a imagem de vários alunos ao mesmo tempo.

As fotografias registraram (figura 37) a montagem dos modelos tipo “bola-vareta” – e foram de fundamental importância para investigar os resultados obtidos na análise com as bolas de isopor.

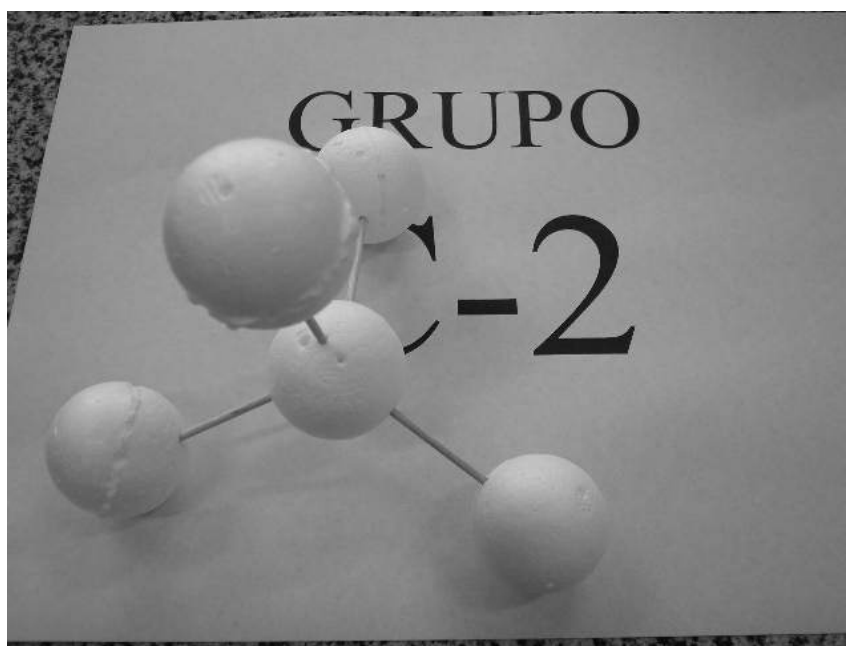


Figura 37 – Imagem da atividade com bolas de isopor

²⁷ Produzido pela Lotus, o *software* grava as interações entre o usuário e o aplicativo utilizado, produzindo um filme com extensão scm.

No laboratório de informática, o *software ScreenCam*[®] (figura 38) capturou e registrou o desenvolvimento da atividade realizada pelo aluno, em vídeos com extensão scm, que depois são visualizados.

As sessões de utilização dos programas de informáticos duraram, em média, 50 minutos, tempo, também, das aulas em que se envolveram as tecnologias escolhidas.

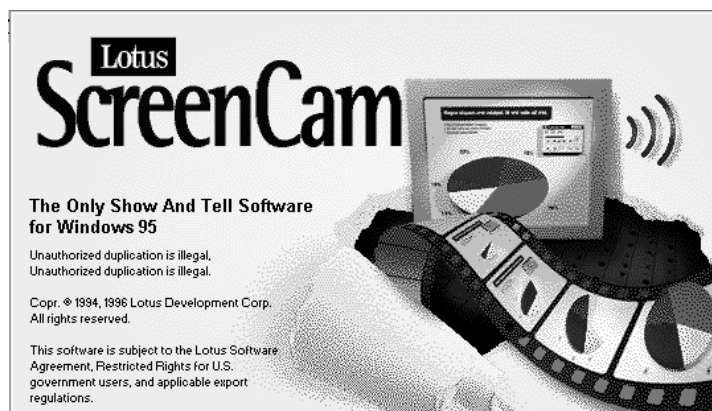


Figura 38 – Tela inicial do ScreenCam[®]

Segundo Sebaldt (1997, p. 21), o objetivo principal era ser o *software* um tutorial, capaz de auxiliar os usuários a usar determinado aplicativo, enquanto observavam as ações do instrutor, registradas com essas tecnologias.

Dessa forma, ao começar o uso, o *software* começa a gravação das ações do usuário (figura 39), o qual as salvam em um arquivo de filme no formato específico do programa, que é a extensão scm²⁸.

²⁸ A extensão scm é utilizada pelos vídeos produzidos pelo *software* ScreenCam.

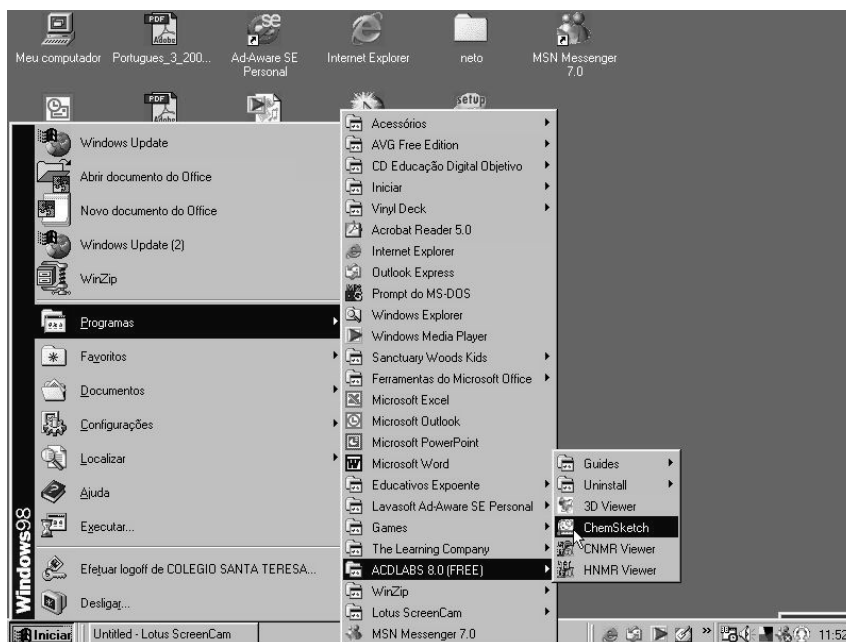


Figura 39 – ScreenCam® em funcionamento

Outro recurso que o *software* oferece é a gravação do som (conversas) dos usuários, permitindo avaliar-lhes a interação. Para isso é preciso que se tenham microfones nas máquinas que serão gerenciadas, por isso não foi usado. É importante deixar claro que esses *softwares* registram a tela do computador e não o usuário, ou seja, não é possível ver o usuário ou suas expressões faciais.

A vantagem do uso deste recurso é a possibilidade da observação completa das ações dos usuários, propiciando uma avaliação melhor das limitações e enganos do *software* que está sendo utilizado. Isso permite uma visão mais aprofundada da aplicação, e não só dos relatos do usuário.

Assim é possível complementar e confrontar a informação coletada por outros instrumentos, em outras palavras, os dados do questionário podem ser confirmados ou até mesmo negados pelos registrados durante a observação.

Para análise dos dados, inicialmente, fez-se um descritivo de cada aula para, posteriormente, identificar potencialidades e limitações no uso do *software ChemSketch®* e conhecer os condicionantes da utilização das diferentes tecnologias no ensino de Geometria Molecular.

A ESCOLA – LOCAL DA PESQUISA

Trata-se de um estabelecimento particular que mantém o ensino maternal, fundamental e médio, localizado no centro da cidade de Ituiutaba-MG. Funciona nos turnos matutino e vespertino. É uma escola de dois andares, tendo salas de aulas em ambos os andares. Tem ginásio coberto e piscina para as atividades físicas. No andar térreo, estão localizadas quatro salas de aulas, sala da direção, sala de coordenação, sala de professores, laboratório de tecnologia educacional (onde foi aplicado a pesquisa utilizando o *software ChemSketch®*), laboratório de Biologia, Física e Química (onde foi aplicado a pesquisa utilizando bolas de isopor e varetas de madeira). No primeiro andar, funcionam seis salas de aula, uma sala de multimídia (com datashow), onde os professores utilizam para as aulas com agendamento prévio, uma sala de vídeo (com aparelho de videocassete e Dvd), utilizadas também pelos professores nas aulas e um auditório.

A escola trabalha com material apostilado desde o ensino fundamental; apresenta baixa rotatividade de alunos; salas de aula com até 30 alunos, facilitando assim a interação entre professor-aluno.

A escolha da escola deu-se pela disponibilidade e flexibilidade da direção para o desenvolvimento da investigação, pois a escola apóia projetos de ensino que tem como objetivos a melhoria das aprendizagens dos alunos.

SUJEITOS DA PESQUISA

Foram interlocutores desta pesquisa 28 alunos, da segunda série do ensino médio de uma escola particular, da cidade de Ituiutaba, Minas Gerais, sendo que 12 são do sexo feminino e 16, do masculino, o que corresponde a 43% e 57%, respectivamente (gráfico 1).

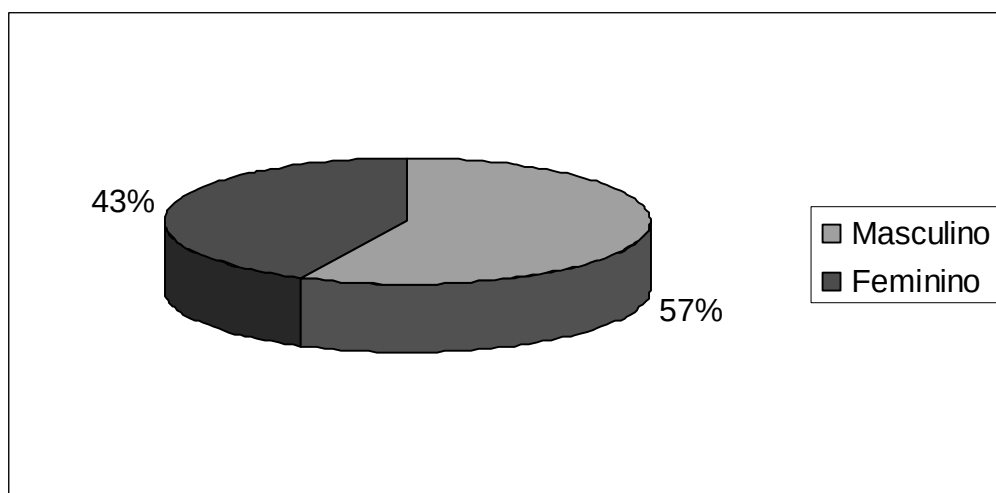


Gráfico 1 – Distribuição da amostra por gênero

Os alunos apresentam idades compreendidas entre 15 e 17 anos, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição etária dos alunos em função do gênero (N=28)

Idade (em anos)	Sexo		Total
	Masculino	Feminino	
15	18,8%	16,7%	17,9%
16	68,7%	75,0%	71,4%
17	12,5%	8,3%	10,7%
	100,0%	100,0%	100,0%

Em relação ao uso da informática, 96,4 % dos alunos utilizam o computador, 85,2% têm computadores em casa, 82,1% têm acesso a internet (52,1% têm acesso a internet 24 horas através de ADSL²⁹).

Tabela 2 – Utilização do computador (N=28)

	Sim	Não
Utiliza computador?	96,4%	3,6%
Tem computador em casa?	85,2%	14,8%
Acesso à internet?	82,1%	17,9%

Durante a semana, como atividade principal, 35,7% dos alunos acessam a internet; 35,7% assistem televisão; 14,3% escutam rádio e 14,3% estudam (gráfico 2).

²⁹ Assymmetric Digital Subscriber Line ou Linha Digital Assimétrica para assinantes.

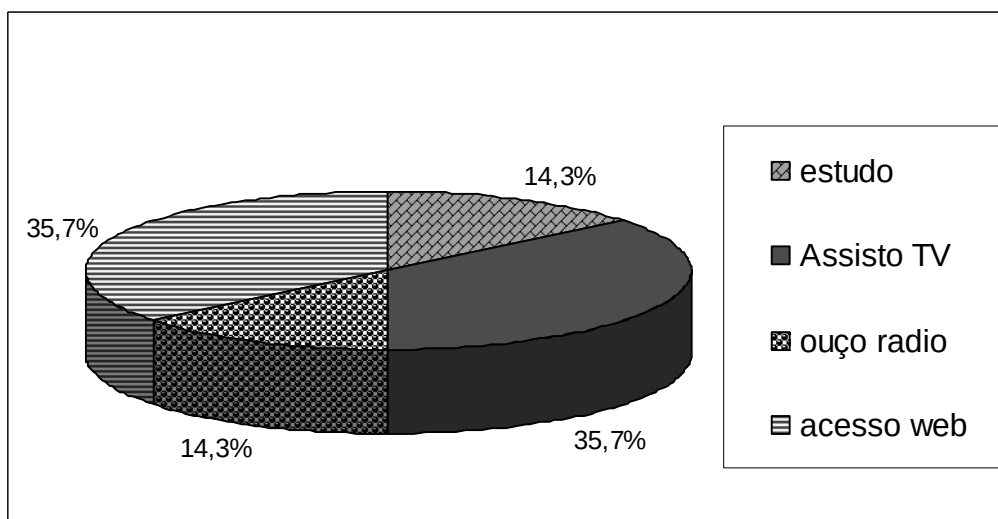


Gráfico 2 – Atividade principal durante a semana

Segundo a pesquisa, nos finais de semana, 35,7% dos alunos acessam a internet; 32,1% freqüentam festas; 14,3% freqüentam bares; 10,7% ficam em casa; 3,6% freqüentam cinema e apenas 3,6% estudam (gráfico 3).

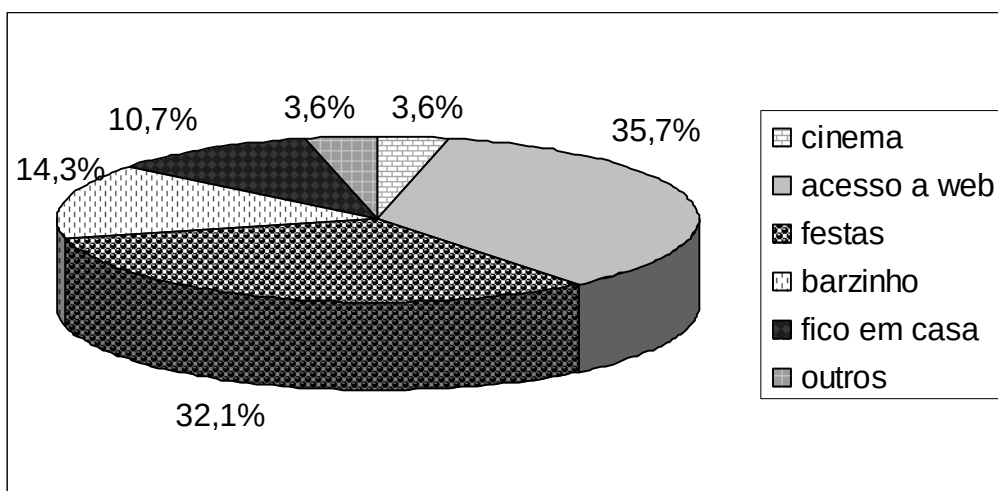


Gráfico 3 – Atividade principal no final de semana

Questionados sobre o curso do Ensino Fundamental, 17,9% dos alunos fizeram-no totalmente na rede pública; 25%, parcialmente na rede pública e 57,1%, totalmente na rede particular (gráfico 4).

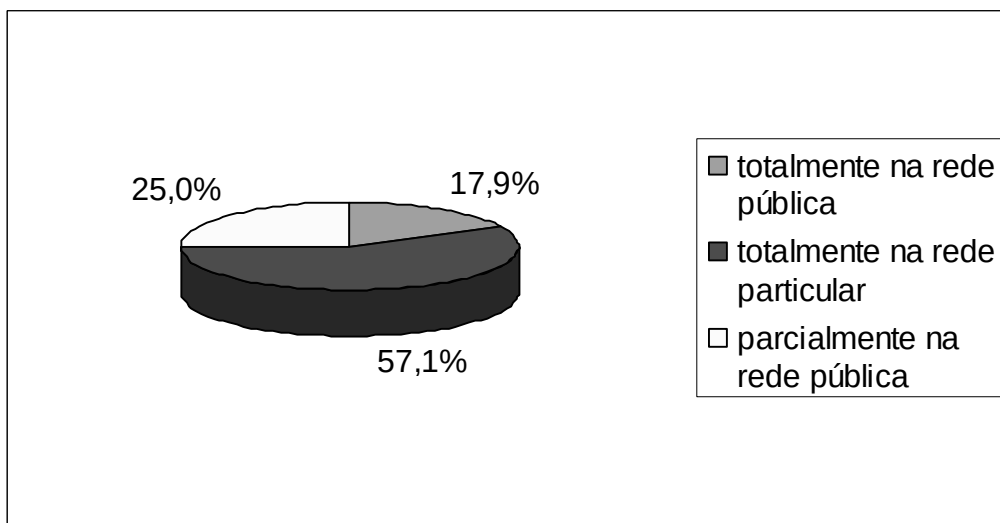


Gráfico 4 – Conclusão do ensino fundamental

Verificou-se que 53,6% não gostam de estudar Química e que 71,5% apresentam dificuldade em aprendê-la. 60,7% dos alunos pesquisados concordam que a Química tem papel importante no cotidiano (tabela 3).

Tabela 3 – A Química no dia-a-dia dos alunos (N=28)

	Sim	Não
Gosta de estudar Química?	46,4%	53,6%
Facilidade em entender Química?	71,5%	71,5%
A Química tem um papel importante no seu cotidiano?	60,7%	39,3%

Valendo-se dos resultados pode-se inferir que um número significativo de alunos não gostam de estudar Química, supõe-se que uma das razões seja a não descoberta do papel que a Química tem no seu dia-a-dia, apesar de apresentarem uma certa facilidade em entender o conteúdo programático ministrado.

RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Acompanhando muito de perto o cotidiano da escola e, em particular, da turma investigada, foi possível entender que a experiência vivida (descrita nos capítulos anteriores) foi fundamental no processo de produção do conhecimento sobre os diferentes modos de abordagem que podem ser utilizados no ensino de Geometria Molecular. O professor/pesquisador compartilhou as atitudes dos alunos, suas reações, dificuldades e avanços.

Os alunos teoricamente aprendem, por exemplo, que os átomos se unem por ligações covalentes para formar moléculas. Porém, têm dificuldades de representar ou prever a geometria. A utilização de modelos, por sua vez, pode promover a elaboração de várias e úteis interpretações, explicações, bem como formas de compreensão e de previsão que envolvem a aplicação de modelos teóricos na descrição de estruturas e propriedades de interesse da Química.

Desse modo, tomou-se, pois, como ponto de partida, a criação de diferentes situações de ensino, valendo-se do que usualmente é usado no ensino de Geometria Molecular no Ensino Médio na escola.

Assim, tais tecnologias foram objeto de investigação e de reflexão crítica, com refinamentos e possibilidades de reinterpretações, na perspectiva de analisar qualitativamente as aprendizagens com a utilização de diferentes tecnologias de apoio ao ensino e, fundamentalmente, identificando se o *software ChemSketch*[®] potencia ou desfavorece a elaboração de modelos mais adequados de estruturas químicas.

A proposta de trabalho se fundamenta no pressuposto de que os modelos são, por sua natureza, uma forma de manifestação do pensamento teórico (revelação do concreto em forma de conceitos com a mediação do pensamento). Desse modo, o modelo, e a representação se constituem em resultados de uma complexa atividade cognitiva que inclui, fundamentalmente, a elaboração mental do objeto, a expressão concreta em imagens das relações essenciais da realidade que não são captadas sensorialmente. Assim, o modelo construído não é algo pronto e consolidado, mas processo que vai se formando e se transformando, e é este saber representacional do aluno que se constituiu em desafio, no sentido de captá-lo,

resgatá-lo e sistematizá-lo, identificando e colocando a descoberto um conhecimento acerca do pensamento teórico-conceitual.

Para o desenvolvimento da atividade, a turma de alunos foi dividida aleatoriamente em quatro grupos denominados pelas letras A, B, C, D, sendo que cada grupo teria 7 participantes. Foi-lhes dito, nessa ocasião, que as aulas transcorreriam com trabalhos em grupo e que eles teriam oportunidade de mudar de grupo se assim o desejassem. O professor/pesquisador apresentou para os alunos as atividades que cada grupo realizaria. O grupo A executaria primeiramente a atividade após a exposição do professor com os recursos/tecnologias de quadro e giz e, depois, num segundo momento, com o *software ChemSketch*[®].

O grupo B faria inicialmente a atividade com bolas de isopor e varetas de madeira no laboratório de Química e depois utilizaria o *software ChemSketch*[®] no laboratório de tecnologia educacional.

O grupo C faria primeiramente a atividade utilizando o *software ChemSketch*[®] no laboratório de tecnologia educacional e depois utilizaria bolas de isopor e varetas de madeira no laboratório de Química.

O grupo D faria inicialmente a atividade utilizando o *software ChemSketch*[®] no laboratório de tecnologia educacional e depois faria a atividade na sala de aula com quadro e giz.

Logo em seguida, foi estabelecido um cronograma (Quadro 3) de desenvolvimento das atividades segundo a disponibilidade do laboratório de tecnologia educacional.

Quadro 3 – A ordem de aplicação dos episódios de ensino

Momento	Grupo	Tecnologias
1º	A	Quadro e giz
2º	B	Bolas de Isopor
3º	C	<i>Software ChemSketch®</i>
4º	C	Bolas de Isopor
5º	D	<i>Software ChemSketch®</i>
6º	A	<i>Software ChemSketch®</i>
7º	B	<i>Software ChemSketch®</i>
8º	D	Quadro e giz

Vale ressaltar a contrariedade de alguns membros dos grupos A e D, porque não queriam participar da aula em que a tecnologia de apoio era o quadro e giz, pois tinham expectativas no trabalho a ser desenvolvido com o software.

AULA DE QUÍMICA: TECNOLOGIA - QUADRO E GIZ

Estavam presentes na sala de aula 6 alunos (dois alunos faltaram) que integravam o **grupo A**. A proposta nessa atividade era expor o conteúdo sobre Geometria Molecular com o auxílio do quadro e giz. Desse modo, o professor/pesquisador apresentou o modelo VSEPR problematizando-o e instigando os alunos a proporem modelos para os compostos que desenhou no quadro verde: I_2 (linear), H_2O (angular), NH_3 (piramidal) e CH_4 (tetraédrico). Um dos questionamentos que surgiu dos alunos foi: “como podemos prever a geometria de uma molécula?” O professor explicou que há um método relativamente de fácil compreensão, divulgado por Ronald J. Gillespie, na década de 60, chamado de *Teoria de Repulsão dos Pares Eletrônicos da Camada de Valência*.

Na sala de aula os alunos questionaram sobre o elemento central e a geometria que a estrutura de Lewis passaria a ter ao fazer as ligações. Um das dificuldades observadas foi com a linguagem geométrica, como por exemplo, o termo bipirâmide trigonal.

Assim, com base em descrições, o professor introduziu, de forma bastante sutil, a idéia de como prever a geometria molecular dos compostos. Logo em seguida, propôs aos alunos a realização de alguns exercícios. Tais exercícios solicitavam a construção de fórmulas estruturais, obedecendo ao modelo VSEPR, de alguns compostos. As atividades foram avaliadas segundo as categorias:

- Não sei → você não tinha a menor idéia da montagem da fórmula;
- Fiquei em dúvida → Você domina relativamente o assunto, mas ficou em dúvida entre uma ou outra maneira de fazer e acabou fazendo a errada;
- Não entendi → você sabe o assunto, mas não entendeu a forma como construir o composto;
- Deu Branco → Você sabe como fazer, mas, por nervosismo, ansiedade, receio ou qualquer outro fator emocional, não conseguiu solucionar a fórmula;
- Não deu tempo → você saberia resolver o composto, mas faltou tempo para isso.
- Foi fácil → Acertei o composto, pois foi fácil.



Figura 40 – Alunos no início da atividade

Para isso cada aluno avaliou o exercício dado. No composto CS_2 , 50% dos pesquisados encontraram facilidade para montar o composto, enquanto que 50% ficaram com alguma dúvida na montagem.

Tabela 4 – Atividade com quadro e giz - grupo A

	Quadro e Giz – Grupo A										
	CS_2	F_2	HCN	ClBr	SO_2	CCl_4	SO_3	COCl_2	SF_6	PCl_3	PCl_5
Não sei	0,0%	0,0%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	16,7%	0,0%	0,0%
Fiquei em dúvida	50,0%	50,0%	33,3%	33,3%	16,7%	33,3%	33,3%	33,3%	33,3%	50,0%	66,7%
Não entendi	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%
Não deu tempo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Foi fácil	50,0%	50,0%	33,3%	66,7%	83,3%	66,7%	66,7%	50,0%	50,0%	50,0%	16,7%
Geometria	Linear	Linear	Linear	Linear	Angular	Tetraédrica	Trigonal	Trigonal	Octaédrica	Piramidal	Bipirâmide trigonal

Para o composto SF_6 , 50% acharam fácil, 16,7% não souberam, enquanto 33,3% ficaram em dúvida.

50% dos pesquisados acharam fácil a montagem do F_2 e 50% ficaram em dúvida. No CCl_4 , 66,7% dos pesquisados acharam fácil e 33,3% ficaram em dúvida.

No cianeto de hidrogênio (HCN), 33,3% dos pesquisados acharam fácil, 33,3% não souberam e 33,3% ficaram em dúvida.

O SO_2 foi considerado fácil para 83,3% dos pesquisados, enquanto 16,7% ficaram em dúvida com relação à sua estrutura.

O SO_3 foi considerado fácil para 66,7% dos pesquisados e 33,3% ficaram em dúvida com relação a sua estrutura. O mesmo se deu com o ClBr .

O PCl_3 foi considerado fácil para 50% dos pesquisados e o mesmo percentual teve dúvidas com relação à estrutura do composto.

16,7% dos pesquisados consideraram fácil a montagem do PCl_5 , enquanto 66,7% ficaram em dúvida e 16,7% alegaram ter dado um branco durante a pesquisa.

O composto COCl_2 foi considerado fácil para 50% dos pesquisados, 33,3% ficaram em dúvida e 16,7% não souberam fazer o composto.

A grande maioria dos alunos apresentou dificuldade em representar o PCl_5 – geometria bipirâmide trigonal –. Eles obtiveram, também, um menor percentual de acertos ao representar o composto. Isto ocorre pela complexidade da molécula, que possui 5 orbitais no átomo central, cinco pares ligantes e nenhum par isolado, com ângulos de ligação de 180° , 120° e 90° . Na representação do HCN gerou algumas dúvidas entre os alunos, quanto a ser uma geometria linear. Embora, aparentemente, seja uma representação considerada fácil, os alunos não constroem um modelo adequado, talvez pela idéia de que a geometria linear acontece em toda molécula diatômica (que possui dois átomos) ou em toda molécula em que o átomo central possui no máximo duas nuvens eletrônicas em sua camada de valência. Alguns alunos não identificaram as duas nuvens eletrônicas no átomo central em sua camada de valência.

O **grupo D** era composto por 7 alunos (um aluno havia saído da escola e mudado para outro município durante a pesquisa).

O procedimento no desenvolvimento da aula foi o mesmo, tanto em relação a tecnologia como aos exercícios, porém, com uma diferença: esse grupo já havia explorado o tema no laboratório de tecnologia educacional.

Poucas dúvidas surgiram, todas estavam relacionadas à linguagem utilizada para denominar as formas geométricas assumidas pelos compostos.

Tabela 5 – Atividade com quadro e giz - grupo D

	Quadro e Giz – Grupo D										
	CS ₂	F ₂	HCN	ClBr	SO ₂	CCl ₄	SO ₃	COCl ₂	SF ₆	PCl ₃	PCl ₅
Não sei	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	28,6%	0,0%	0,0%	0,0%
Fiquei em dúvida	14,3%	0,0%	14,3%	14,3%	28,6%	28,6%	14,3%	14,3%	57,1%	42,9%	57,1%
Não entendi	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Não deu tempo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Foi fácil	85,7%	100%	85,7%	85,7%	71,4%	71,4%	85,7%	57,1%	42,9%	57,1%	42,9%
Geometria	Linear	Linear	Linear	Linear	Angular	Tetraédrica	Trigonal	Trigonal	Octaédrica	Piramidal	Bipirâmide trigonal

Os resultados dos alunos na realização dos exercícios foram satisfatórios. No composto CS₂, 85,7% dos pesquisados encontraram facilidade para montá-lo, enquanto 14,3% ficaram com alguma dúvida na montagem.

Para o composto SF₆, 42,9% manifestaram ser fácil e 57,1% ficaram em dúvida.

100% dos pesquisados teve facilidade na montagem do F₂. No CCl₄, 71,4% dos pesquisados apontou como fácil, enquanto 28,6% ficaram em dúvida.

Com o cianeto de hidrogênio (HCN), os resultados foram idênticos aos com o CS₂. O mesmo se deu em relação ao SO₃ e o ClBr.

O PCl₃ foi considerado fácil para 57,1% dos pesquisados, enquanto 42,9% tiveram dúvidas em relação à estrutura do composto.

42,9% dos pesquisados consideraram fácil a montagem do PCl₅ e 57,1% ficaram em dúvida em relação à estrutura do composto.

No desenvolvimento da atividade com o composto COCl₂ 57,1% dos pesquisados consideraram fácil e 14,3% ficaram em dúvida. 28,6% não souberam fazer o composto.

Na molécula de pentacloreto de fósforo, PCl₅, de acordo com o modelo de VSEPR, os cinco pares e os átomos a que eles se ligam devem estar afastados o

máximo possível, em um arranjo bipirâmide trigonal. Nesse arranjo, três átomos estão nos cantos de um triângulo equilátero e os outros dois acima e abaixo do plano formado pelo triângulo. Essa estrutura, como já mencionado, tem três ângulos diferentes. Tal arranjo, ao ser representado pelos alunos, apresenta diferenças em relação ao modelo de VSEPR, o que sinaliza a dificuldade dos alunos em visualizar esse modelo.

Sintetizando, pode-se inferir que a combinação das tecnologias possibilita aos alunos uma compreensão mais satisfatória, pois os alunos do grupo D obtiveram melhor desempenho após vivenciarem uma situação de ensino com o *software* construindo desse modo um modelo mais adequado.

AULA DE QUÍMICA: TECNOLOGIA - VARETAS E BOLAS DE ISOPOR

O **grupo B** era composto por 8 alunos. Os procedimentos iniciais da aula foram os mesmos: o professor expôs o conteúdo aos alunos, instigando-os a prever a geometria de uma molécula, utilizando as varetas e bolas de isopor. Foram empregados os mesmos exemplos para explorar o conteúdo.

Logo em seguida, os alunos montaram suas estruturas com o material distribuído pelo professor.

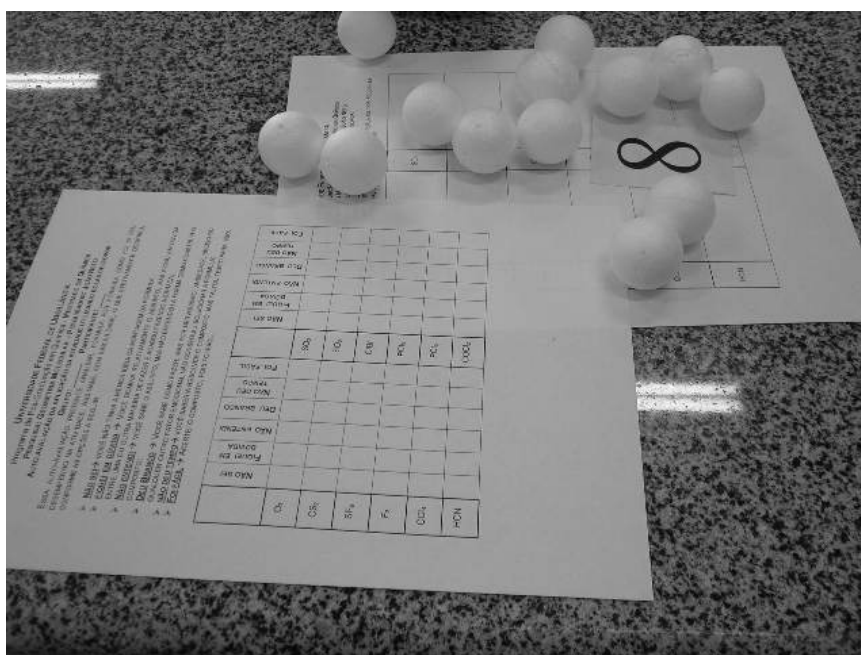


Figura 41 – Material utilizado na pesquisa com bolas de isopor e varetas de madeira

Tabela 6 – Atividade com varetas e bolas de isopor - grupo B

	Varetas e bolas de isopor – Grupo B										
	CS ₂	F ₂	HCN	ClBr	SO ₂	CCl ₄	SO ₃	COCl ₂	SF ₆	PCl ₃	PCl ₅
Não sei	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	12,5%	12,5%	0,0%	0,0%
Fiquei em dúvida	12,5%	0,0%	50,0%	0,0%	50,0%	12,5%	25,0%	12,5%	25,0%	25,0%	25,0%
Não entendi	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	12,5%	25,0%	0,0%	12,5%	12,5%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Não deu tempo	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	12,5%	0,0%	12,5%	25,0%	0,0%	0,0%	37,5%
Foi fácil	87,5%	100%	37,5%	100%	37,5%	87,5%	50,0%	25,0%	62,5%	62,5%	25,0%
Geometria	Linear	Linear	Linear	Linear	Angular	Tetraédrica	Trigonal	Trigonal	Octaédrica	Piramidal	Bipirâmide trigonal

No composto CS₂, 87,5% dos pesquisados encontraram facilidade para montá-lo, enquanto 12,5% ficaram com alguma dúvida na montagem.

Para o composto SF₆, 62,5% manifestou ser fácil, 12,5% não souberam e 25% ficaram em dúvida.

100% dos pesquisados considerou fácil a montagem do F₂. No CCl₄, ocorreu o mesmo que no CS₂.

No cianeto de hidrogênio (HCN) e no SO₂, 37,5% dos pesquisados reconheceu ser fácil enquanto que 50% ficaram em dúvida na montagem do composto. 12,5% dos pesquisados alegaram falta de tempo para concluir a fórmula.

O SO₃ foi considerado fácil para 50% dos pesquisados, 25% ficaram em dúvida com relação a sua estrutura, 12,5% não entenderam a fórmula e o mesmo percentual alegou falta de tempo para concluir o composto.

O ClBr foi considerado fácil para 100% dos pesquisados. O PCl₃ foi considerado fácil para 62,5% dos pesquisados, enquanto 25% ficaram com dúvidas e 12,5% não entenderam o composto.

25% dos pesquisados consideraram fácil a montagem do PCl₅, o mesmo percentual apresentou dúvidas com relação à fórmula, 37,5% alegaram que o tempo foi insuficiente e 12,5% não entenderam o composto.

O composto COCl₂ foi considerado fácil para 25% dos pesquisados, o mesmo percentual não entendeu o composto, 12,5% não souberam construir a

fórmula, 12,5% ficaram em dúvida com relação ao composto; o restante alegou falta de tempo para construir o composto.

Os resultados sugerem que os compostos com estrutura linear e bipirâmide pentagonal são aqueles que apresentam obstáculos inerentes ao aprendizado. Tais obstáculos podem estar associados aos aspectos conceituais ou aqueles que correspondem à imagem mental elaborada pelos alunos. Na formação da imagem mental ou modelo construído pelo aluno, a representação gráfica ou concreta (varetas) desempenha papel fundamental. Tal representação tem suas especificidades que, ao ser modelada, pode guardar características que não pertencem à estrutura, por desconsiderar as propriedades e a correta localização dos átomos.

O **grupo C** formado por 7 alunos (um aluno havia faltado), já havia realizado a atividade no laboratório de tecnologia educacional. O professor realizou o mesmo procedimento didático do grupo B.



Figura 42 – Alunos desenvolvendo a atividade com bolas de isopor

O grupo C não apresentou dificuldades para realizar a atividade no laboratório de Química.

No composto CS_2 , 57,1% dos pesquisados encontraram facilidade para montar o composto, 14,3% não souberam fazê-lo e 28,6% ficaram com alguma dúvida na montagem.

Para o composto SF_6 , 28,6% consideraram fácil, 14,3% não souberam, enquanto 57,1% ficaram em dúvida.

85,7% dos pesquisados manifestaram ser fácil a montagem do F_2 , enquanto 14,3% alegaram que deu um branco na montagem do composto. No CCl_4 , 14,2% avaliaram como fácil e 42,9% apresentaram dúvida na construção do composto. O mesmo percentual de alunos alegaram que não o entenderam.

No cianeto de hidrogênio (HCN), 85,7% dos pesquisados sinalizaram que foi fácil, enquanto 14,3% ficaram em dúvida na montagem do composto.

Para o SO_2 foi fácil para 57,1%, 28,6% ficaram em dúvida com relação a sua estrutura e 14,3% não souberam construir o composto.

Quanto ao SO_3 57,1% considerou fácil, enquanto 28,6% ficaram em dúvida com relação a sua estrutura e 14,3% não entenderam a fórmula.

57,1% considerou fácil o ClBr , 28,6% não souberam construir a fórmula e 14,3% ficaram em dúvida na montagem.

Para o PCl_3 57,1% manifestou facilidade na resolução da atividade, 28,6% ficaram com dúvidas e 14,3% não souberam fazer a fórmula. 71,4% ficaram em dúvida na montagem do PCl_5 , enquanto 28,6% não souberam fazer a fórmula.

57,1% dos pesquisados manifestou facilidade para construir a fórmula do COCl_2 , 14,3% não souberam fazer o composto e 28,6% apresentaram dúvidas com relação ao composto.

Tabela 7 – Atividade com varetas e bolas de isopor - grupo C

	Varetas e bolas de isopor – Grupo C										
	CS_2	F_2	HCN	ClBr	SO_2	CCl_4	SO_3	COCl_2	SF_6	PCl_3	PCl_5
Não sei	14,3%	0,0%	0,0%	28,6%	14,3%	0,0%	0,0%	14,3%	14,3%	14,3%	28,6%
Fiquei em dúvida	28,6%	0,0%	14,3%	14,3%	28,6%	42,9%	28,6%	28,6%	57,1%	28,6%	71,4%
Não entendi	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	42,9%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Deu branco	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Não deu tempo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Foi fácil	57,1%	85,7%	85,7%	57,1%	57,1%	14,3%	57,1%	57,1%	28,6%	57,1%	0,0%
Geometria	Linear	Linear	Linear	Linear	Angular	Tetraédrica	Trigonal	Trigonal	Octaédrica	Piramidal	Bipirâmide trigonal

A representação dos compostos PCl_5 e CCl_4 , pelos alunos, apresenta em sua construção aspectos que não são bem definidos, com desenhos particulares, o que sugere que os alunos possuem dificuldades para fazer previsões em moléculas mais complexas. Embora o CCl_4 pareça ser uma estrutura de fácil previsão geométrica, o percentual de acertos foi baixo. Talvez a origem da dificuldade dos alunos no modo de representação pelo professor/pesquisador. Já o composto HCN , que apresentou dificuldades nos outros grupos, tem aqui o seu maior valor percentual de facilidade em toda a pesquisa.

AULA DE QUÍMICA: TECNOLOGIA - SOFTWARE CHEMSKETCH®

O ponto inicial para a formação de conceitos é o conhecimento do aluno, ou seja, o que ele sabe sobre o assunto que está sendo abordado. Desse modo, independentemente do recurso didático utilizado, o professor introduzia um a um os exemplos de compostos, perguntando sempre aos alunos como eles os representariam.

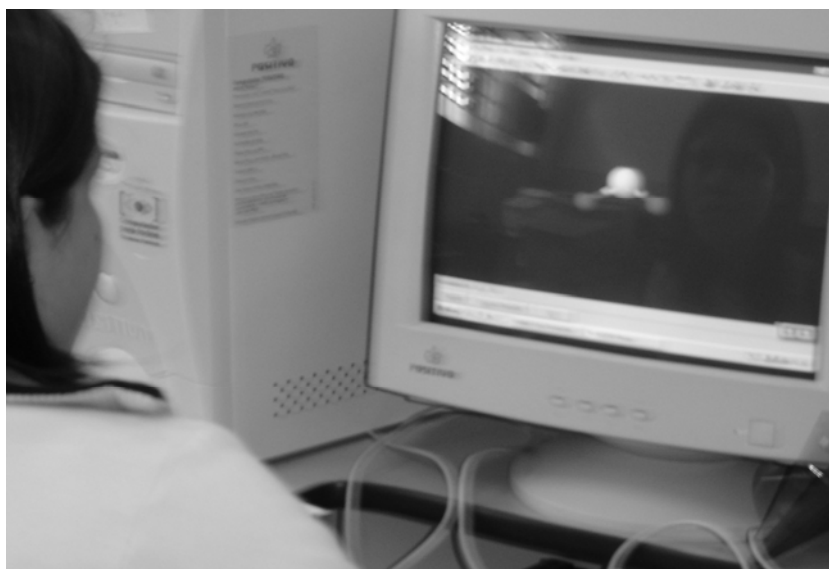


Figura 43 – Durante a atividade no laboratório de tecnologia educacional

O **grupo C**, representado por 7 alunos, (uma aluna havia faltado) apresentou os seguintes resultados: no composto CS_2 , 71,4% encontraram facilidade para montá-lo, 14,3% não souberam fazê-lo e 14,3% ficaram com alguma dúvida na montagem.

Para o composto SF_6 , 42,9% consideram fácil, 42,9% não souberam e não entenderam, enquanto 14,2% ficaram em dúvida.

71,4% dos alunos assinalou ser fácil a montagem do F_2 , enquanto 28,6% ficaram em dúvida. No CCl_4 , 57,1% acharam fácil, enquanto 42,9% ficaram em dúvida.

No cianeto de hidrogênio (HCN), 71,4% apontaram ser fácil, 14,3% não souberam e 14,3% ficaram em dúvida na montagem do composto.

O SO_2 foi considerado fácil para 42,9% dos pesquisados, enquanto o mesmo percentual ficou em dúvida com relação a sua estrutura e 14,2% dos entrevistados alegaram não ter dado tempo para montar o composto.

No SO_3 , para 28,6% foi fácil, 42,9% ficaram em dúvida com relação a sua estrutura e 28,5% dos entrevistados alegaram que não entenderam o composto.

No composto ClBr , para 100% foi fácil. 57,1% consideraram fácil a construção da estrutura do PCl_3 , 14,3% não souberam construí-la e 28,6% ficaram em dúvida com relação à estrutura do composto.

14,3% dos pesquisados consideraram fácil a montagem do PCl_5 , 14,3% não souberam montar a estrutura, 57,1% ficaram em dúvida com relação a ela e 14,3% alegaram falta de tempo para concluir a montagem.

O composto COCl_2 foi considerado fácil para 14,3% dos pesquisados, 57,1% ficaram em dúvida com relação ao composto, 14,3% não o entenderam e o mesmo percentual alegou ser o tempo insuficiente para concluir a estrutura.

Considerando as dificuldades na utilização do *software*, é possível revelar que 57,1% apresentaram-nas algumas vezes, 28,6% quase sempre e 14,3% não tiveram nenhuma dificuldade. 42,9% dos pesquisados sempre executaram as tarefas propostas na ordem solicitada, 28,6% quase sempre e 28,6% também algumas vezes.

71,4% dos pesquisados solicitaram, algumas vezes, ajuda ao professor para executar as tarefas propostas, 14,3% sempre e 14,3% quase sempre. 71,4% dos pesquisados quase sempre analisaram corretamente os ângulos formados, observando os vetores criados, enquanto 14,3% sempre o faziam e 14,3%, algumas vezes.

85,7% concordam que esse tipo de *software* deveria ser utilizado mais vezes nas aulas, e 14,3% discordam.

Tabela 8 – Atividade com o *software ChemSketch* - grupo C

	Software ChemSketch® – Grupo C										
	CS₂	F₂	HCN	ClBr	SO₂	CCl₄	SO₃	COCl₂	SF₆	PCl₃	PCl₅
Não sei	14,3%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	28,6%	14,3%	14,3%
Fiquei em dúvida	14,3%	14,3%	14,3%	0,0%	42,9%	42,9%	42,9%	57,1%	14,3%	28,6%	57,1%
Não entendi	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	28,5%	14,3%	14,3%	0,0%	0,0%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Não deu tempo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	14,3%
Foi fácil	71,4%	71,4%	71,4%	100%	42,9%	57,1%	28,6%	14,3%	42,9%	57,1%	14,3%
Geometria	Linear	Linear	Linear	Linear	Angular	Tetraédrica	Trigonal	Trigonal	Octaédrica	Piramidal	Bipirâmide trigonal

Os resultados nos compostos com geometria linear caracterizam que ocorreu aprendizagem entre os alunos. Já não é possível dizer dos compostos PCl₅ e COCl₂ que tiveram baixíssimos valores. O PCl₅, como já dito, apresenta maior dificuldade para a sua montagem, em função do tipo de geometria que apresenta.



Figura 44 – Atividade sendo desenvolvida no laboratório de tecnologia educacional

Os alunos do **grupo D** que interagiram com o *software* apresentaram dificuldades na execução do mesmo, solicitando a presença do professor

constantemente. Também observou-se que alguns alunos não iniciaram imediatamente a execução do *software* e a construção das estruturas.

Na realização da atividade, 42,9% dos alunos encontraram facilidade para montar o composto CS_2 , enquanto 57,1% ficaram com alguma dúvida na montagem.

Para o composto SF_6 , 28,6% consideraram fácil e 71,4% ficaram em dúvida.

71,4% dos pesquisados apontaram que foi fácil a montagem do F_2 , 14,3% ficaram em dúvida e 14,3% não souberam fazer a estrutura. No CCl_4 , os dados são os mesmos que no F_2 .

No HCN , para 42,9% foi fácil, 14,2% não souberam e 42,9% ficaram em dúvida na montagem do composto.

O SO_2 foi considerado fácil para 42,8%, ficaram em dúvida com relação à sua estrutura 28,6% e o mesmo número não entendeu o composto (28,6%).

O SO_3 foi fácil para 42,9%, sendo que 42,9% ficaram em dúvida com relação a sua estrutura e 14,2% dos entrevistados alegaram que não ter entendido o composto.

Na representação da estrutura ClBr 85,7% manifestou ser fácil e 14,3% não souberam fazer o composto.

O PCl_3 foi fácil para 57,1% dos alunos, 14,3% não souberam construir a estrutura e 28,6% ficaram em dúvida com relação à estrutura do composto.

42,9% dos pesquisados considerou fácil a montagem do PCl_5 , 14,2% não souberam montar a estrutura e 42,9% ficaram em dúvida com relação à estrutura.

O composto COCl_2 foi apontado como fácil para 42,8% dos pesquisados, 28,6% ficaram em dúvida com relação ao composto e 28,6% não entenderam o composto.

Considerando as dificuldades na utilização do *software*, 57,1% apresentaram-nas algumas vezes, 28,6% quase sempre e 14,3% não tiveram nenhuma dificuldade. 42,9% dos pesquisados sempre executaram as tarefas propostas na ordem solicitada, 28,6% quase sempre e 28,6%, também, algumas vezes.

85,7% dos pesquisados solicitaram algumas vezes ajuda ao professor para executar as tarefas propostas e 14,3% nunca. 14,3% dos pesquisados sempre analisaram corretamente os ângulos formados, observando os vetores criados; 57,1%, algumas vezes e 28,6% quase sempre.

85,7% concordam que este tipo de *software* deveria ser utilizado mais vezes nas aulas, e 14,3% discordam.

Tabela 9 – Atividade com o *software ChemSketch* - grupo D

	Software ChemSketch® – Grupo D										
	CS₂	F₂	HCN	ClBr	SO₂	CCl₄	SO₃	COCl₂	SF₆	PCl₃	PCl₅
Não sei	0,0%	14,3%	14,3%	14,3%	0,0%	14,3%	0,0%	28,6%	0,0%	14,3%	PCl ₅
Fiquei em dúvida	57,1%	14,3%	42,9%	0,0%	28,6%	14,3%	42,9%	28,6%	71,4%	28,6%	42,9%
Não entendi	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	28,6%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Não deu tempo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Foi fácil	42,9%	71,4%	42,9%	85,7%	42,9%	71,4%	42,9%	42,9%	28,6%	57,1%	42,9%
Geometria	Linear	Linear	Linear	Linear	Angular	Tetraédrica	Trigonal	Trigonal	Octaédrica	Piramidal	Bipirâmide trigonal

No **grupo A**, 42,9% dos pesquisados encontraram facilidade para montar o composto CS₂, enquanto 57,1% ficaram com alguma dúvida na montagem.

Para o composto SF₆, 42,9% assinalaram ser fácil, 14,2% não souberam e 42,9% ficaram em dúvida.

57,1% consideraram fácil a montagem do F₂, 28,6% ficaram em dúvida e 14,3% não souberam fazer a estrutura. No CCl₄, 28,6% dos pesquisados acharam fácil e 71,4% ficaram em dúvida.

No cianeto de hidrogênio, HCN, para 14,3% foi fácil, 57,1% ficaram em dúvida e 14,2% não souberam a montagem do composto.

No SO₂ foi fácil para 57,1%, enquanto 28,6% ficaram em dúvida com relação à sua estrutura.

No SO₃, 42,9%, realizou a atividade com facilidade enquanto 57,1% ficaram em dúvida com relação à sua estrutura.

O ClBr foi considerado 42,9% fácil, 42,9% ficaram em dúvida, enquanto 14,2% não souberam fazer o composto.

O PCl₃ foi fácil para 28,6%, 57,1% ficaram em dúvida e 14,2% não souberam construir a estrutura.

28,6% dos pesquisados consideraram fácil a montagem do PCl_5 , 28,6% não souberam montar a estrutura e 42,9% ficaram em dúvida.

No composto COCl_2 , 14,3% assinalaram como fácil, 57,1% ficaram em dúvida e 28,6% não o entenderam.

No tocante às dificuldades na utilização do *software*, 71,4% apresentaram-nas algumas vezes, 14,3% sempre e 14,3% não tiveram nenhuma dificuldade. 57,1% dos pesquisados sempre executaram as tarefas propostas na ordem solicitada; 28,6%, quase sempre e 14,3%, algumas vezes.

Segundo a avaliação dos próprios alunos, 42,9% sempre analisaram corretamente os ângulos formados, observando os vetores criados; 14,3%, quase sempre; 28,5%, algumas vezes e 14,3% nunca observavam esses ângulos.

Tabela 10 – Atividade com o *software ChemSketch* - grupo A

	Software ChemSketch® – Grupo A										
	CS₂	F₂	HCN	ClBr	SO₂	CCl₄	SO₃	COCl₂	SF₆	PCl₃	PCl₅
Não sei	0,0%	14,3%	14,3%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	28,6%	14,3%	14,3%	28,6%
Fiquei em dúvida	57,1%	28,6%	57,1%	42,9%	42,9%	71,4%	57,1%	57,1%	42,9%	57,1%	42,9%
Não entendi	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Não deu tempo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Foi fácil	42,9%	57,1%	14,3%	42,9%	57,1%	28,6%	42,9%	14,3%	42,9%	28,6%	28,6%
Geometria	Linear	Linear	Linear	Linear	Angular	Tetraédrica	Trigonal	Trigonal	Octaédrica	Piramidal	Bipirâmide trigonal



Figura 45 – Pesquisa sendo desenvolvida com a utilização do software ChemSketch®

O **grupo B** manifestou que: não encontraram dificuldades na previsão da estrutura do composto CS_2 , 75%; 12,5% ficaram em dúvida e 12,5% não souberam montar o composto.

Para o composto SF_6 , 62,5% é fácil; para 12,5%, deu branco enquanto 25% ficaram em dúvida.

Para 100% dos pesquisados foi fácil a montagem do F_2 . No CCl_4 , 75% dos pesquisados apontaram como fácil enquanto 25% ficaram em dúvida.

No HCN , 25% considerou fácil, 25% não souberam, 12,5% não entenderam e 37,5% ficaram em dúvida na montagem do composto.

O SO_2 foi fácil para 87,5%, enquanto 12,5% ficaram em dúvida com relação a sua estrutura.

Para o SO_3 25% dos pesquisados assinalaram que foi fácil, 50% ficaram em dúvida, 12,5% dos entrevistados alegaram que não entenderam o composto e 12,5% que deu branco na hora de montá-lo.

O ClBr foi considerado 100% fácil entre os pesquisados. O PCl_3 , fácil para 50%, 12,5% alegaram que deu branco, enquanto 37,5% ficaram em dúvida com relação à estrutura do composto.

37,5% dos pesquisados consideraram fácil a montagem do PCl_5 , 12,5% não entenderam a estrutura do composto e 50% ficaram em dúvida com relação à mesma.

O composto COCl_2 foi fácil para 25% dos pesquisados, 50% ficaram em dúvida com relação ao mesmo, 12,5% não souberam fazer e 12,5% não o entenderam.

No tocante às dificuldades na utilização do *software*, 100% apresentaram-nas algumas vezes, 62,5% dos pesquisados sempre executaram as tarefas propostas na ordem solicitada, enquanto 37,5%, quase sempre. 12,5% dos pesquisados sempre analisaram corretamente os ângulos formados, observando os vetores criados, enquanto 25%, quase sempre; 50%, algumas vezes e 12,5%, nunca.

50% dos pesquisados concordam totalmente que esse tipo de *software* deveria ser utilizado mais vezes nas aulas, enquanto os outros 50% concordam parcialmente.

Tabela 11– Atividade com o *software ChemSketch* - grupo B

	Software ChemSketch® – Grupo B										
	CS₂	F₂	HCN	ClBr	SO₂	CCl₄	SO₃	COCl₂	SF₆	PCl₃	PCl₅
Não sei	12,5%	0,0%	25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%
Fiquei em dúvida	12,5%	0,0%	37,5%	12,5%	12,5%	25,0%	50,0%	50,0%	25,0%	37,5%	50,0%
Não entendi	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%	12,5%	12,5%	0,0%	0,0%	12,5%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	12,5%	12,5%	0,0%
Não deu tempo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Foi fácil	75,0%	100%	25,0%	87,5%	87,5%	75,0%	25,0%	25,0%	62,5%	50,0%	37,5%
Geometria	Linear	Linear	Linear	Linear	Angular	Tetraédrica	Trigonal	Trigonal	Octaédrica	Piramidal	Bipirâmide trigonal

ANALISANDO OS RESULTADOS ENCONTRADOS ENTRE OS GRUPOS A E D: *SOFTWARE CHEMSKETCH*[®]

O grupo A realizou a atividade após uma aula expositiva com a tecnologia de quadro e giz e repetiu a mesma atividade com computador no laboratório de tecnologia educacional. O grupo D fez o inverso: passou primeiramente pelo laboratório de tecnologia educacional e depois foi para a aula com quadro e giz.

Os resultados trazem à luz algumas observações importantes para o trabalho realizado:

- O grupo A apresentou menor percentual de dificuldades em relação à utilização do *software*. Isso é justificado porque eles tinham uma visão mais ampliada do tema em estudo, já que haviam realizado a tarefa com o auxílio de uma outra tecnologia.

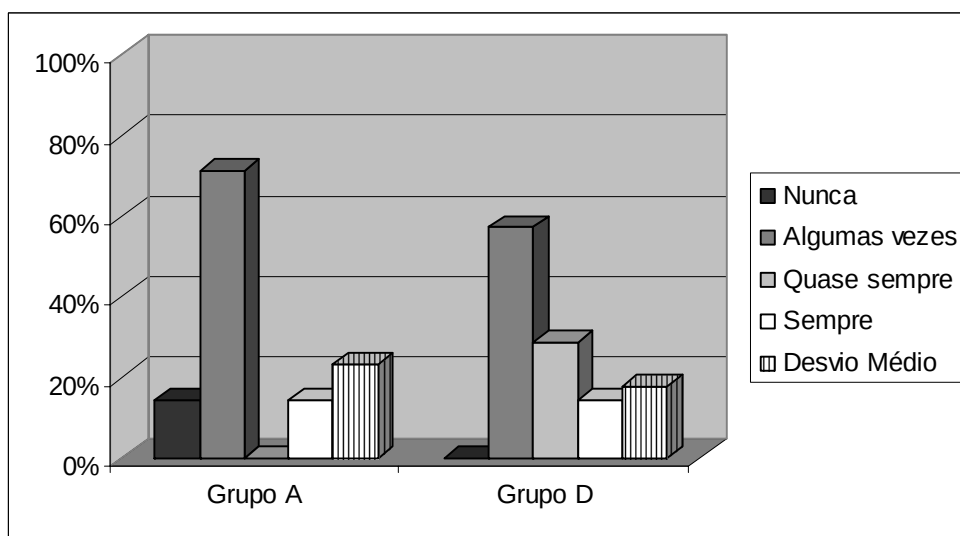


Gráfico 5 – Dificuldade em relação à utilização do *software*

- O grupo A executou as tarefas propostas na ordem solicitada no mesmo desvio médio que o grupo D.

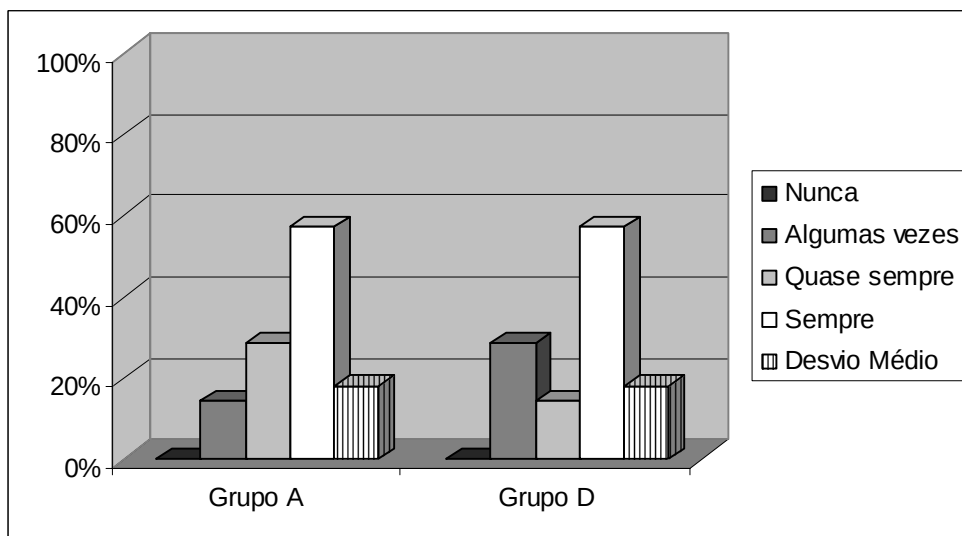


Gráfico 6 – Execução das propostas na ordem solicitada

- O grupo A analisou corretamente os ângulos formados em percentual maior que o grupo D, considerando somente a opção “sempre” e “quase sempre”, mas apresenta a opção “nunca” com um percentual superior ao grupo D. Já o grupo D apresenta um alto percentual em relação à opção “algumas vezes”

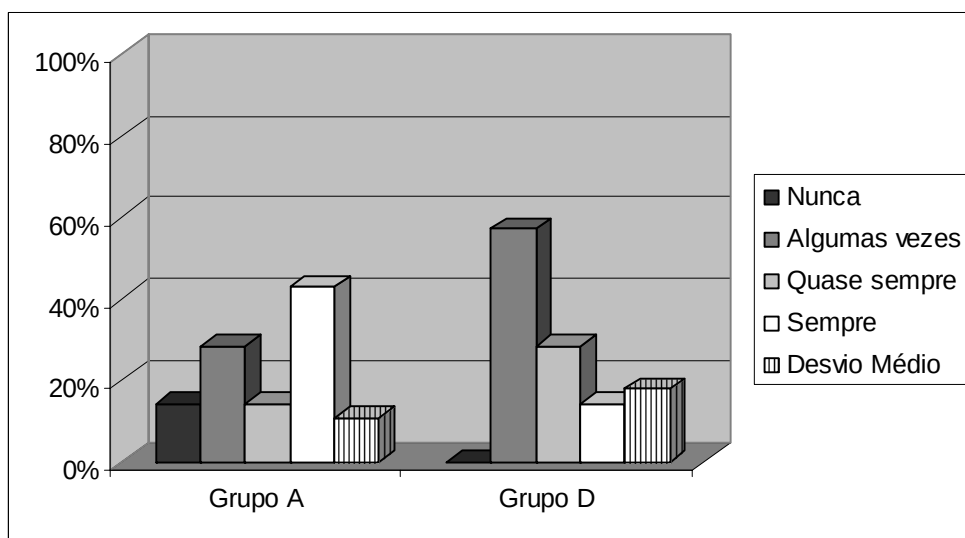


Gráfico 7 – Análise dos ângulos durante a atividade

- O grupo D apresenta maior percentual de respostas positivas quando é indagado se a utilização do *software* pode auxiliar no entendimento de geometria molecular. É importante ressaltar que os componentes desse grupo estavam trabalhando com o *software* primeiro.

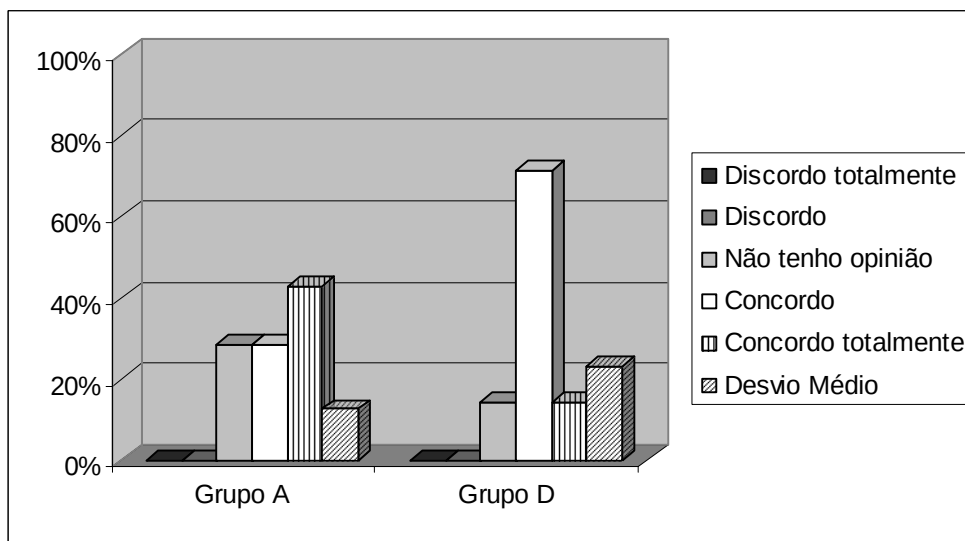


Gráfico 8 – A utilização do *software* auxilia no entendimento de geometria molecular?

- No grupo A, a maioria dos alunos respondeu que a utilização do *software* favorecia uma melhor compreensão e execução das tarefas propostas. Isso reforça a idéia de que essa tecnologia deve ser utilizada como ferramenta de apoio inserida em uma proposta de ensino que integre um planejamento mais amplo e não simplesmente como uma atividade.

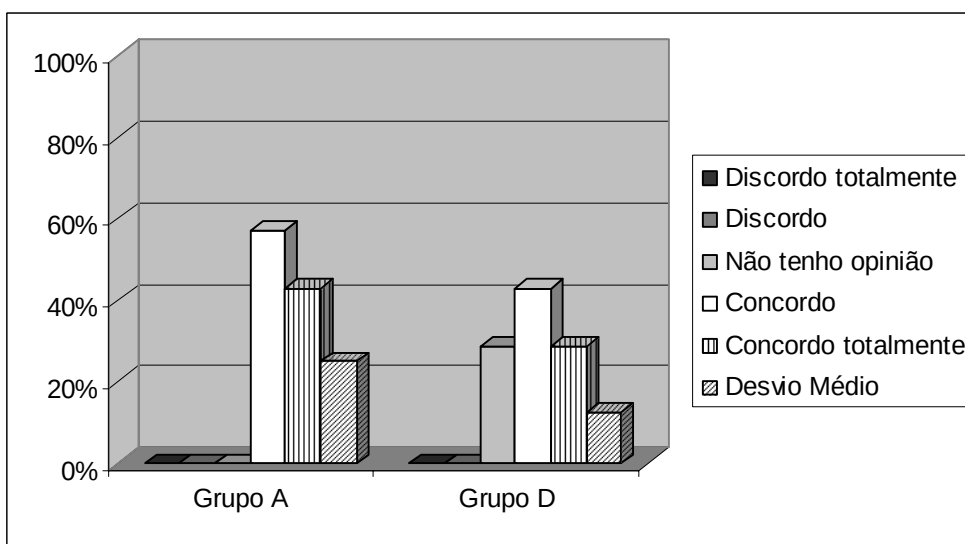
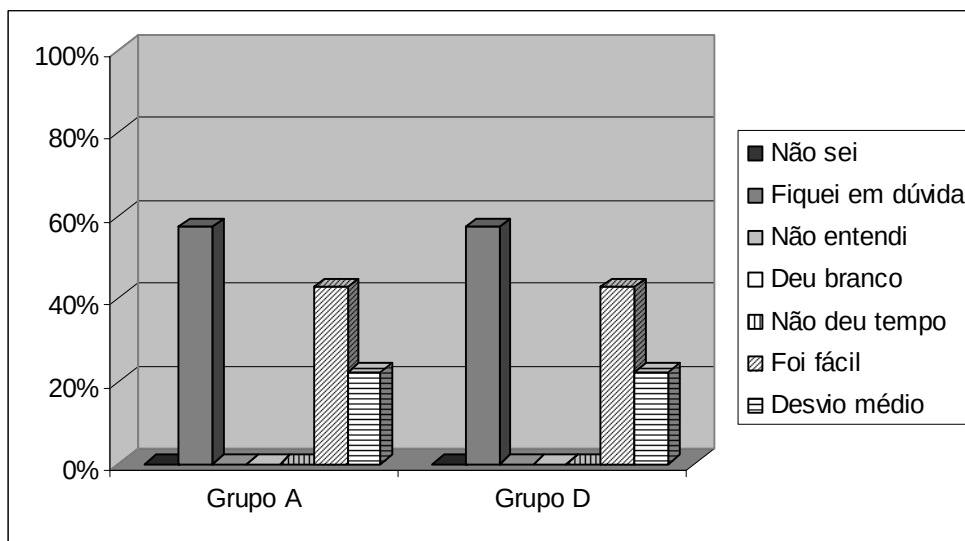


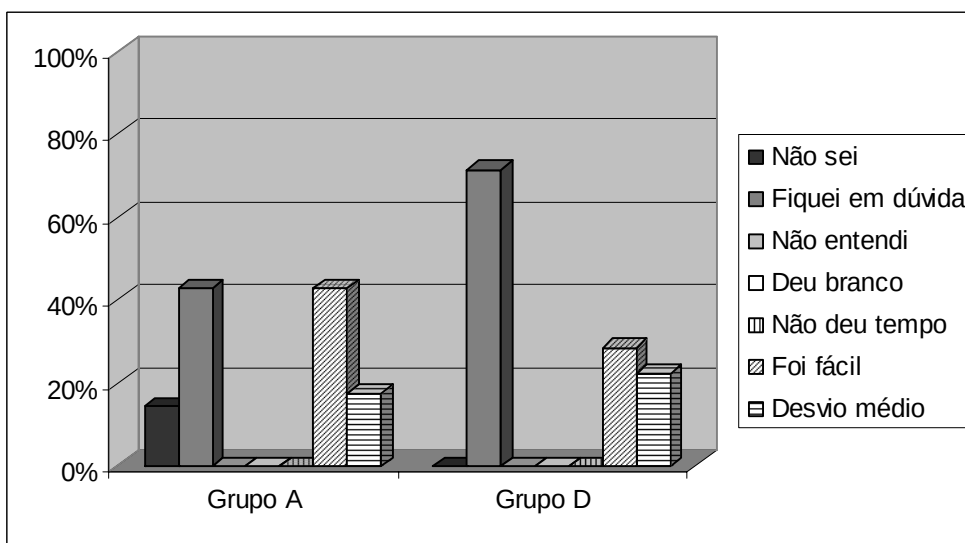
Gráfico 9 – A utilização do *software* ajuda a compreender e executar melhor as tarefas?

Em relação à construção dos compostos, também foram observados alguns contrastes entre os grupos:

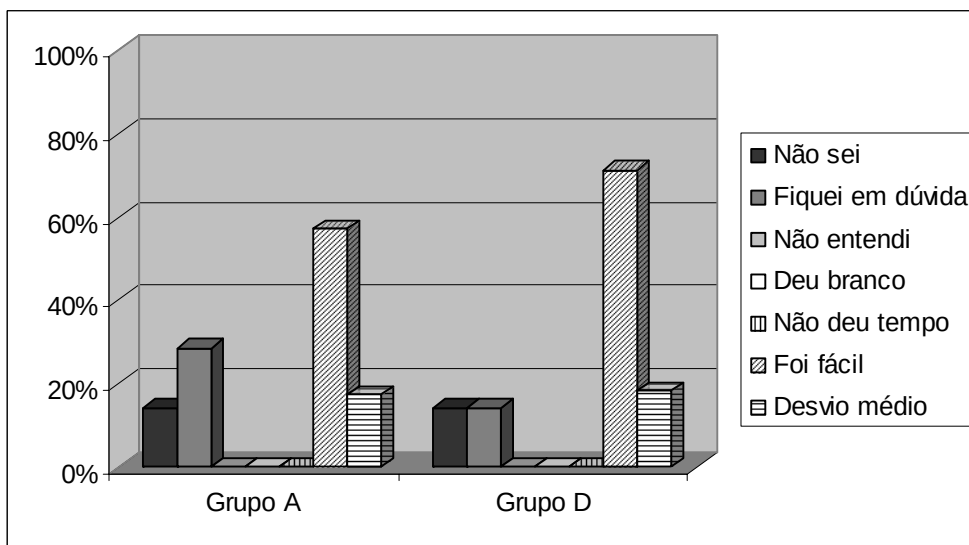
- No composto CS_2 , obteve-se o mesmo resultado em ambos os grupos. É uma estrutura linear que apresenta um pequeno grau de dificuldade.

Gráfico 10 – Auto-avaliação do CS₂ na visão do software

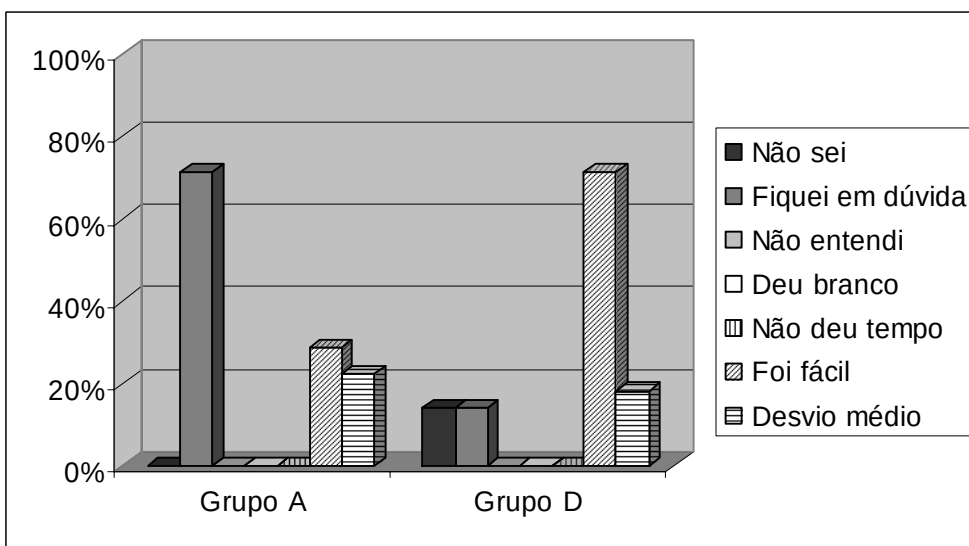
- No composto SF₆, estrutura octaédrica com maior grau de dificuldade na montagem, o grupo A, por ter mais experiência, obtém um resultado melhor.

Gráfico 11 – Auto-avaliação do SF₆ na visão do software

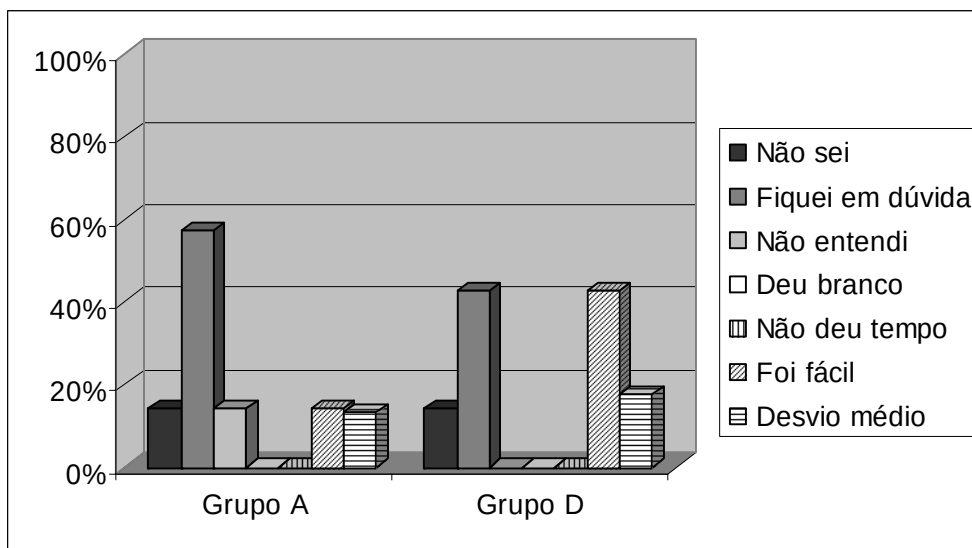
- No composto F₂, uma estrutura linear extremamente fácil, o resultado foi inesperado, pois o grupo D apresenta maior percentual na opção “foi fácil”, e o grupo A apresenta percentual maior de dúvidas.

Gráfico 12 – Auto-avaliação do F_2 na visão do *software*

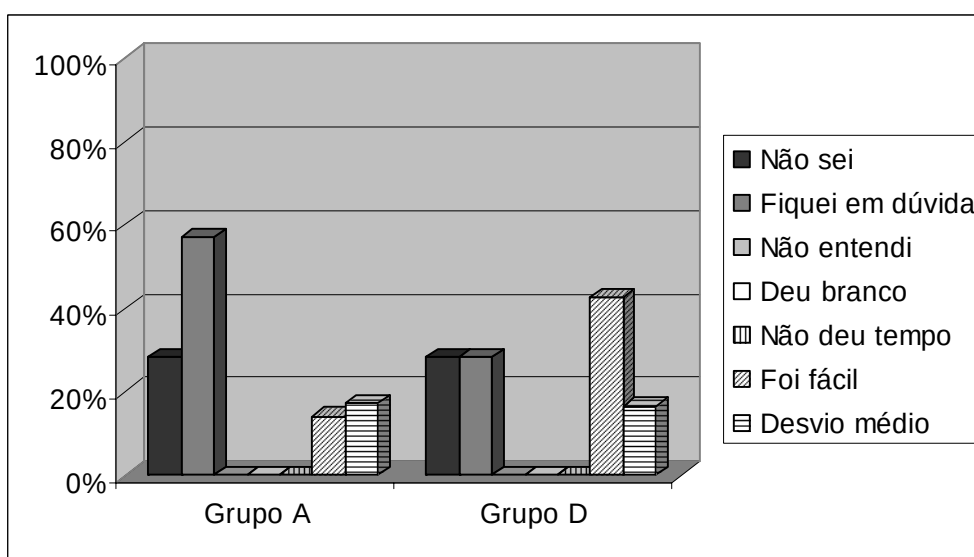
- O mesmo acontece com o CCl_4 , estrutura tetraédrica com grau médio de dificuldades. O grupo D, novamente, tem um percentual maior no quesito “facilidade”, considerando a visão do *software*.

Gráfico 13 – Auto-avaliação do CCl_4 na visão do *software*

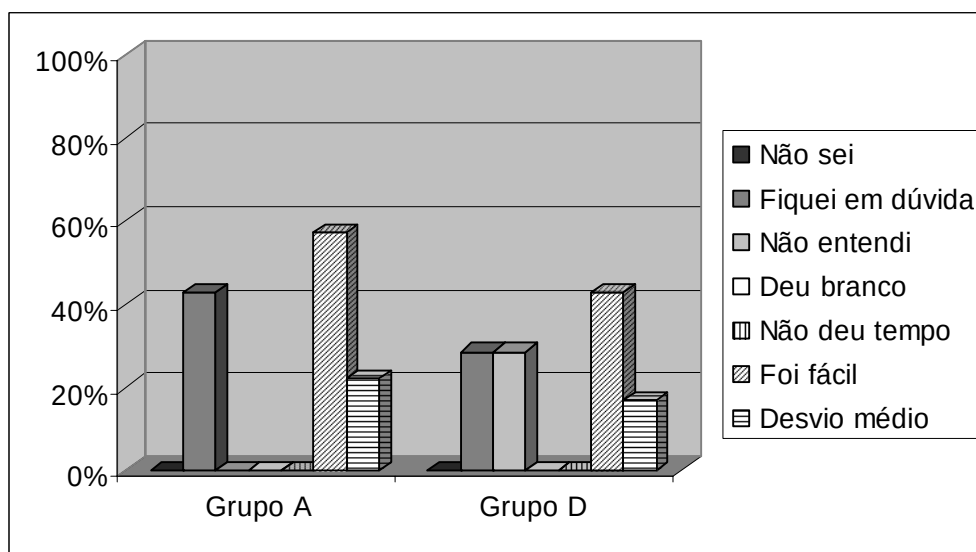
- Neste caso, também, o grupo D obteve um percentual maior, no que tange ao aspecto da facilidade, do que o grupo A. O cianeto de hidrogênio (HCN), que é uma molécula linear, mas apresenta uma ligação tripla e uma simples no elemento carbono, o qual é o centro da molécula.

Gráfico 14 – Auto-avaliação do HCN na visão do *software*

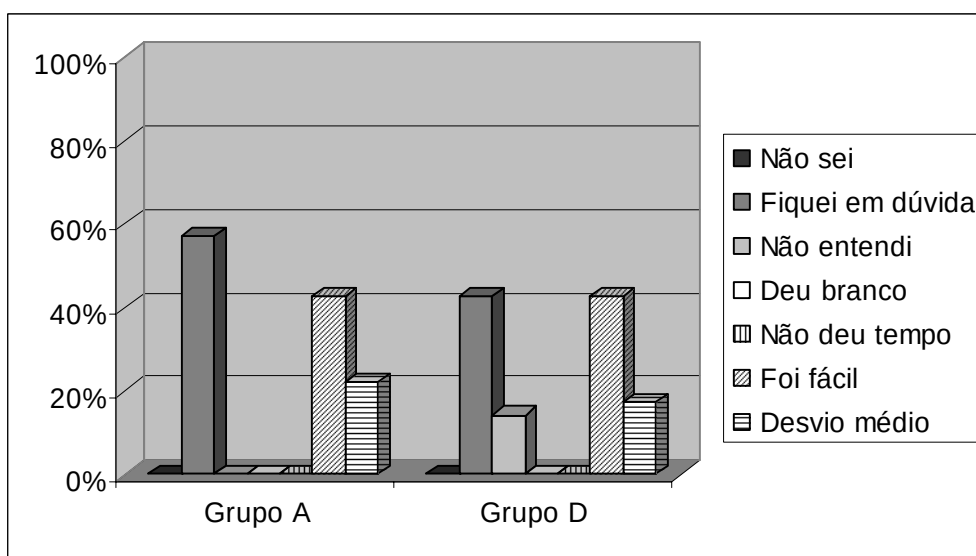
- O COCl_2 apresenta uma estrutura trigonal, em que o carbono, novamente, faz uma ligação covalente dupla e duas ligações covalente simples. O grupo D, outra vez, apresenta percentual maior de facilidade em relação ao grupo A.

Gráfico 15 – Auto-avaliação do COCl_2 na visão do *software*

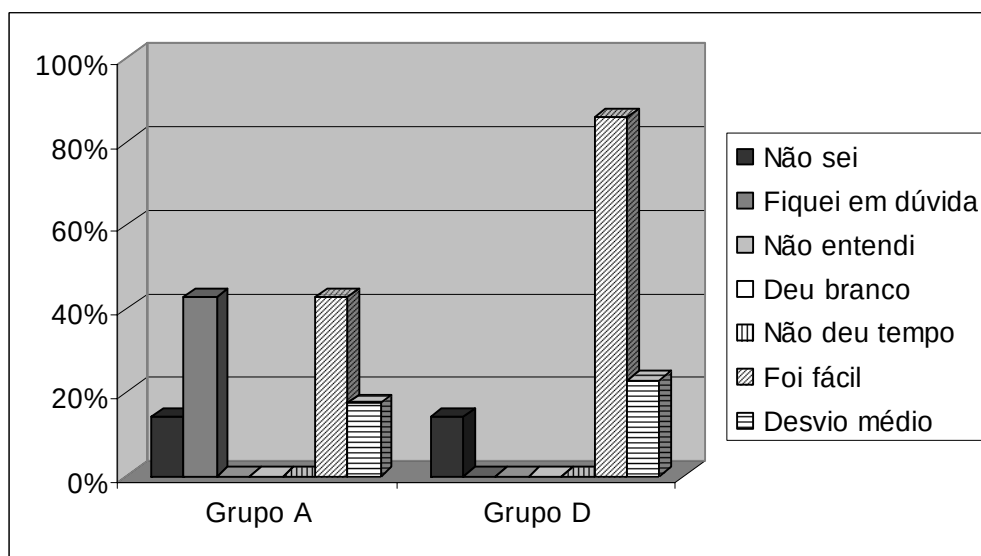
- No SO_2 , o percentual de facilidade no grupo A volta a ser maior. No grupo D, 28,6% dos entrevistados optam pela opção “Não entendi”.

Gráfico 16 – Auto-avaliação do SO₂ na visão do *software*

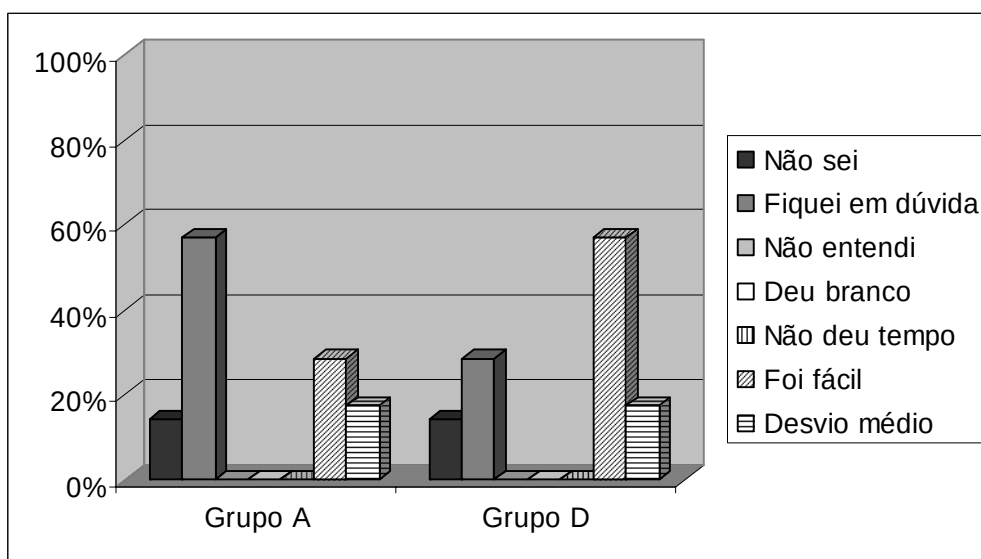
- No SO₃, que apresenta um grau de dificuldade maior, o grupo A consegue ter um percentual de facilidade maior que o grupo D. A opção “Não entendi” é relacionada à dificuldade de trabalhar as estruturas pela primeira vez.

Gráfico 17 – Auto-avaliação do SO₃ na visão do *software*

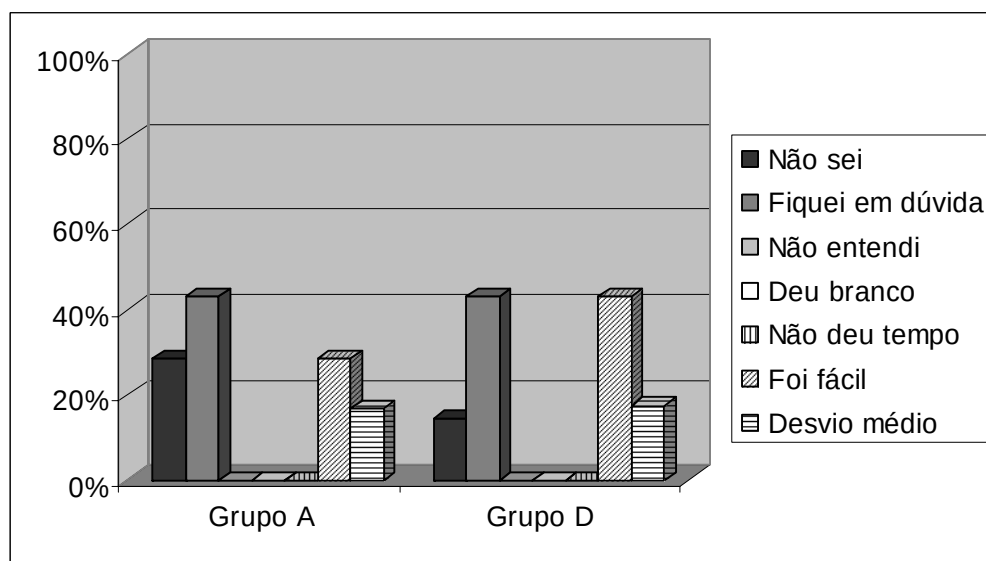
- O composto ClBr é uma estrutura linear muito fácil, apesar de ser uma ligação entre halogênios. O grupo D apresenta um alto percentual de facilidade em relação ao grupo A: este aparece com 14,3% de pesquisados que optaram pelo quesito “Não sei”.

Gráfico 18 – Auto-avaliação do ClBr na visão do *software*

- No PCl_3 , de novo, o grupo D apresenta percentual maior do que o grupo A. É um composto com grau médio de dificuldade e esse percentual é significativo.

Gráfico 19 – Auto-avaliação do PCl_3 na visão do *software*

- Com o PCl_5 , mesmo sendo uma estrutura mais complicada que o PCl_3 , novamente o grupo D consegue ter uma maior porcentagem do que o grupo A.

Gráfico 20 – Auto-avaliação do PCl_5 na visão do *software*

DIFICULDADES NA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE CHEMSKETCH®

As dificuldades dos alunos na utilização do *software* foram categorizadas em três (3) grupos básicos: Grupo I – Dificuldades no gerenciamento do computador; Grupo II – Dificuldades no domínio do *software ChemSketch®* e Grupo III – Dificuldades na compreensão dos conceitos químicos;

Grupo I – Dificuldades no gerenciamento do computador

O computador hoje é uma ferramenta muito utilizada em todos os setores da sociedade e principalmente, na escola em que se realizou o estudo. Embora os alunos tenham acesso livre ao laboratório de tecnologia educacional no contra turno de suas aulas, eles apresentam dificuldade no manuseio do mouse em relação à área de trabalho:

- Alguns alunos, ao iniciar a atividade no computador, não acessavam corretamente a barra de ferramenta – programas. Ficavam procurando o programa nas barras de ferramenta, chegando ao ponto de procurar o *software* até em acessórios – Ferramenta do sistema (Figura 46);

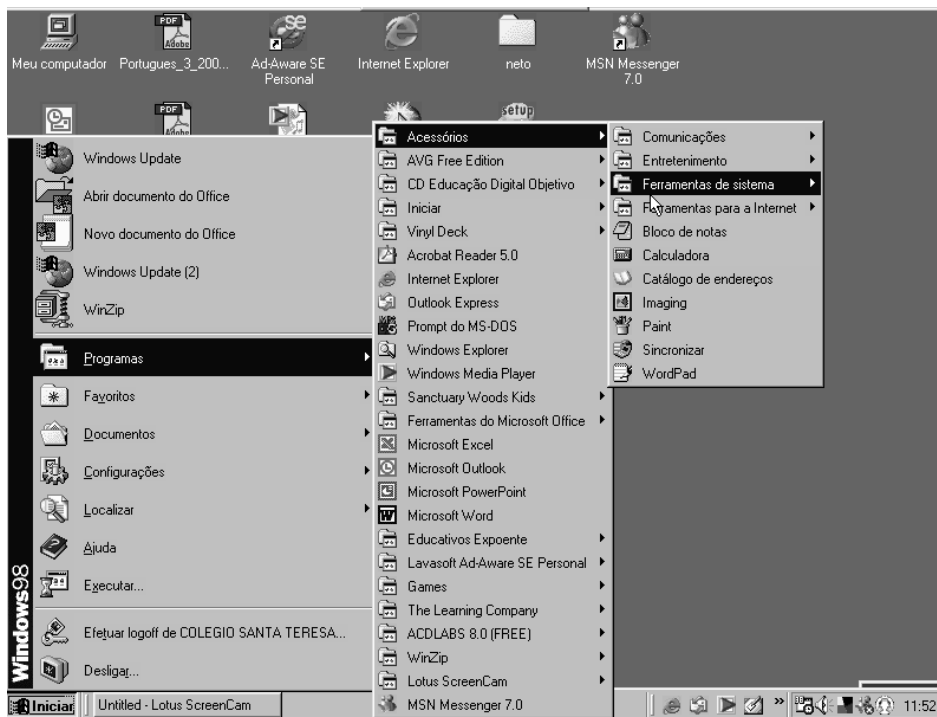


Figura 46 – Área de trabalho

- Quando necessitavam nomear e salvar os arquivos que estavam sendo construídos, apresentavam deficiência no gerenciamento das pastas e também na forma de nomear o arquivo (Fig.47);

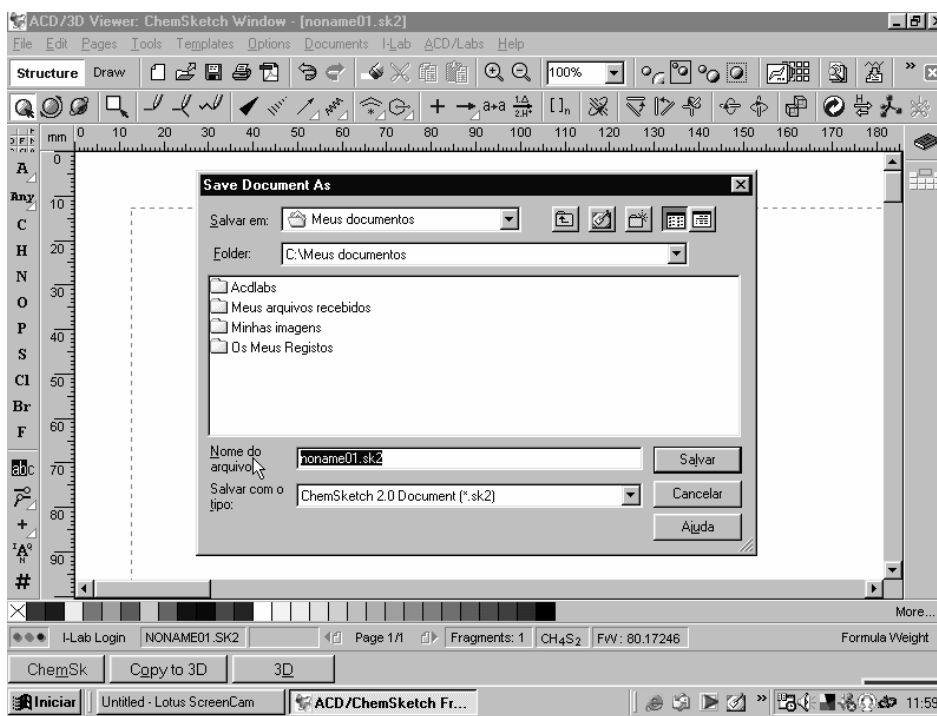


Figura 47 – Dificuldade em salvar o trabalho

- Ao localizar um determinado arquivo já salvo anteriormente, apresentavam certa deficiência para manipulá-lo, dificultando até a

localização do mesmo na pasta em que se estava desenvolvendo o trabalho (Fig. 48);

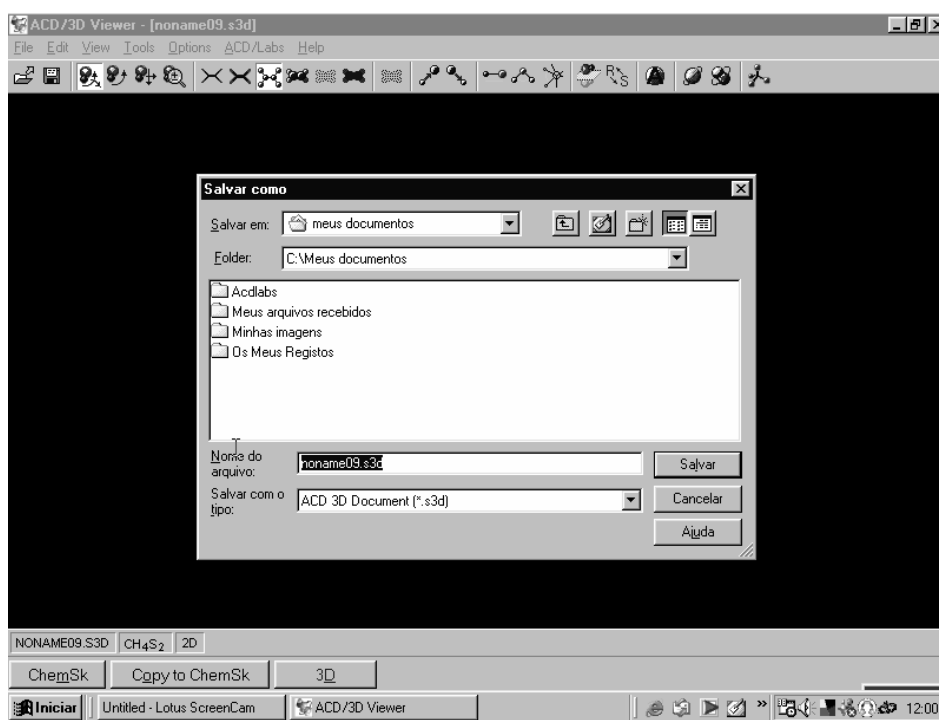


Figura 48 – Dificuldade em localizar a pasta de trabalho

Grupo II – Dificuldades no domínio do *software ChemSketch®*;

Os resultados da investigação sugerem que a utilização do *software ChemSketch®* por parte dos alunos é bem aceita. Ainda assim, verifica-se que algumas dificuldades ocorreram, como por exemplo, os alunos tentavam abrir novamente a tabela periódica, quando ela já estava aberta, demonstrando uma desorientação em relação à utilização do *software* e, também, no desenvolvimento da atividade que estava sendo desenvolvida (Fig. 49);

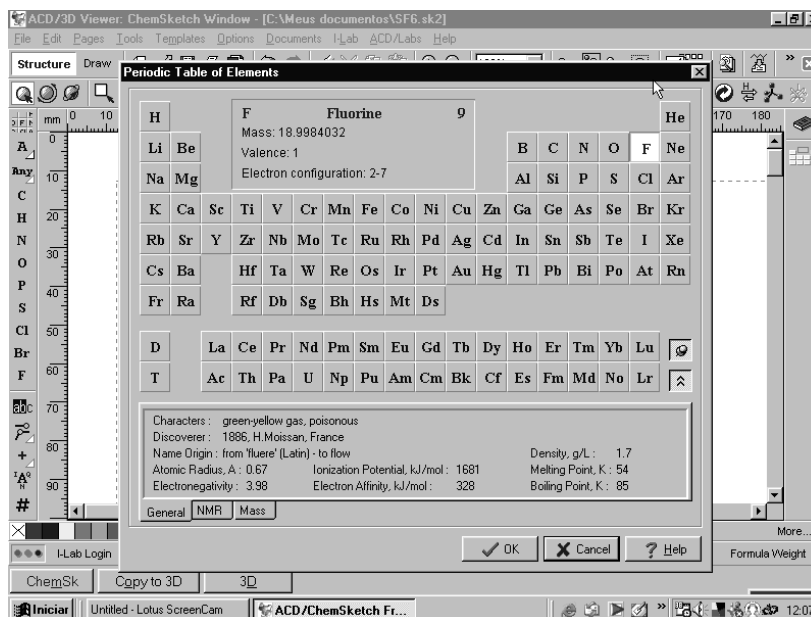


Figura 49 – Tentando abrir mais de uma tabela periódica

- Na área de trabalho do *software*, alunos montavam dois compostos ao mesmo tempo (CH_4 e H_2S). Isso ocorria porque o aluno havia selecionado um elemento, no caso o enxofre, clicando sobre ele e clicando também na área de trabalho, fora da fórmula que estava sendo construída, demonstrando dificuldades de interação com o *software* (Fig. 50);

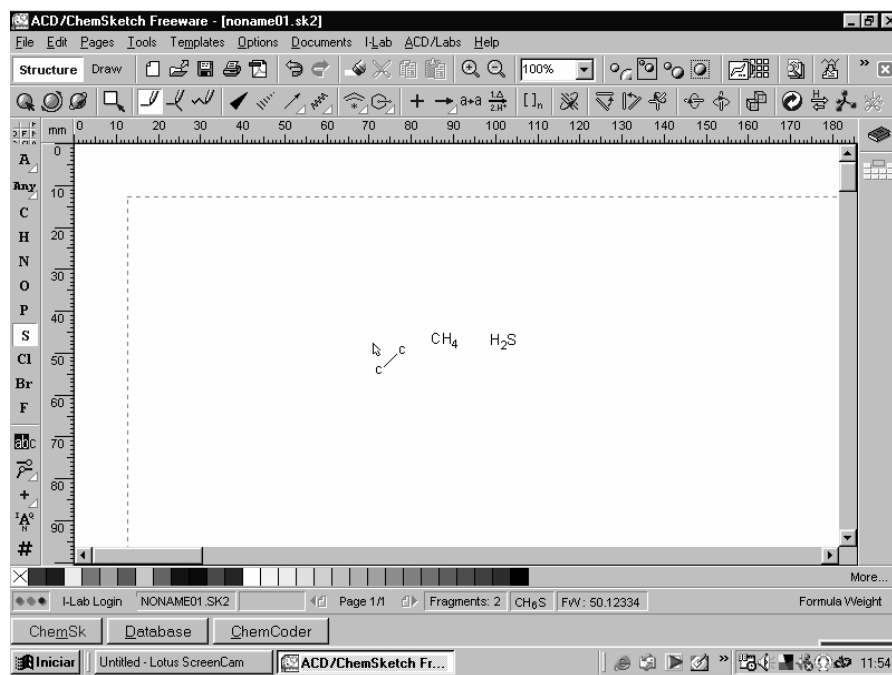


Figura 50 – Criando mais de um composto na mesma área de trabalho

- O aluno abria a área de trabalho do *software* e ficava por alguns minutos sem tomar nenhuma decisão, movimentando apenas o mouse

de um lado para o outro, desorientadamente, sem ativar nada que pudesse auxiliar na construção da pesquisa proposta (Fig. 51);

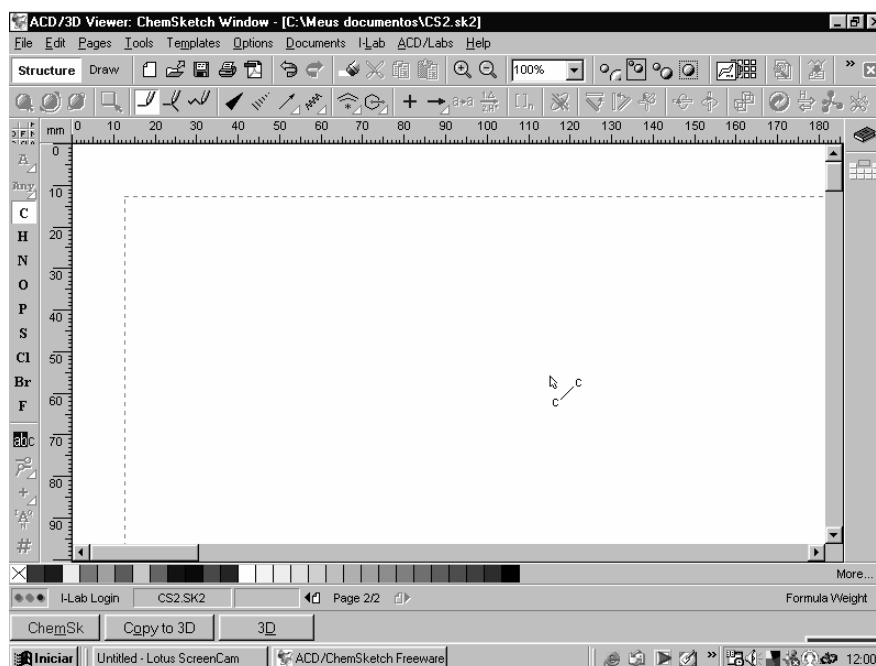


Figura 51 – Abria a área de trabalho e não construía nenhum composto.

- O aluno tentava visualizar a estrutura de uma molécula, mas ele ainda não havia construído nenhuma estrutura para que pudesse visualizá-la (Fig. 52);

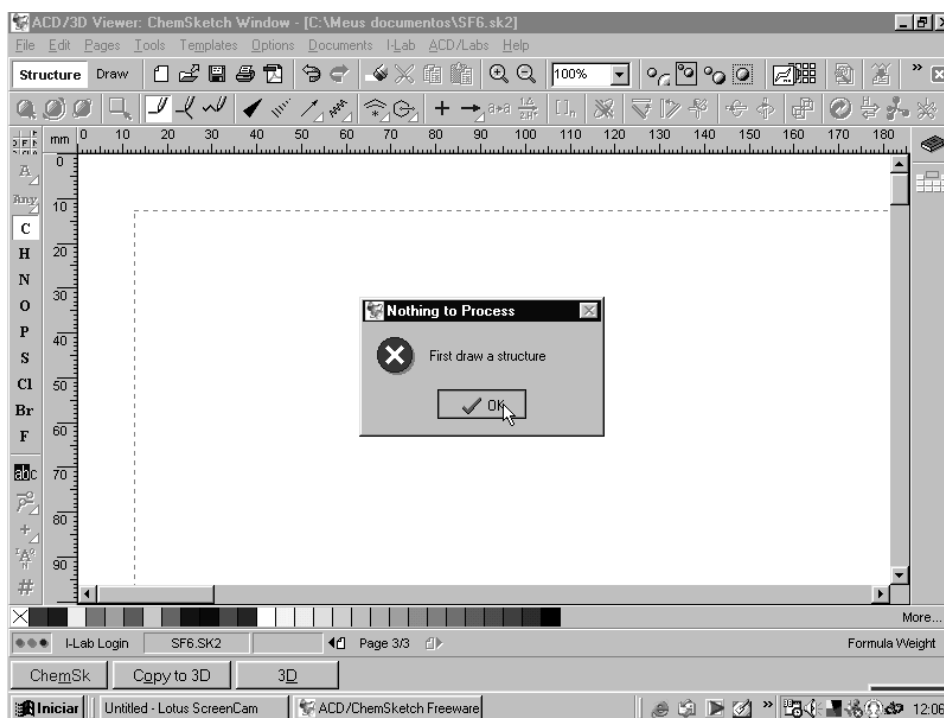


Figura 52 – Tentava visualizar a estrutura mas não havia construído nenhuma

- Os alunos, em determinado momento, criavam compostos totalmente desconectados com o trabalho a ser desenvolvido. Nesse caso, foi

observado que o aluno havia criado uma estrutura CH_7N_3 (circulada na imagem) que não existia na atividade proposta (Fig. 53);

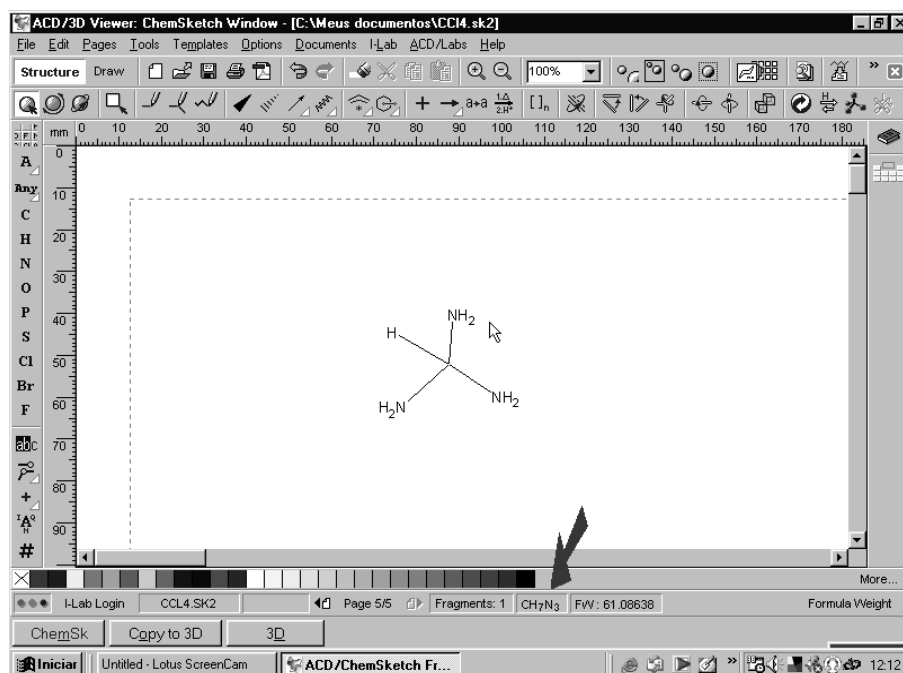


Figura 53 – Estruturas criadas que não existiam no trabalho proposto.

- Logo depois, o aluno teve dificuldades com esse mesmo composto (CH_7N_3), pois ele foi representado sem que os átomos de hidrogênio aparecessem na estrutura espacial do composto criado (Fig. 54).

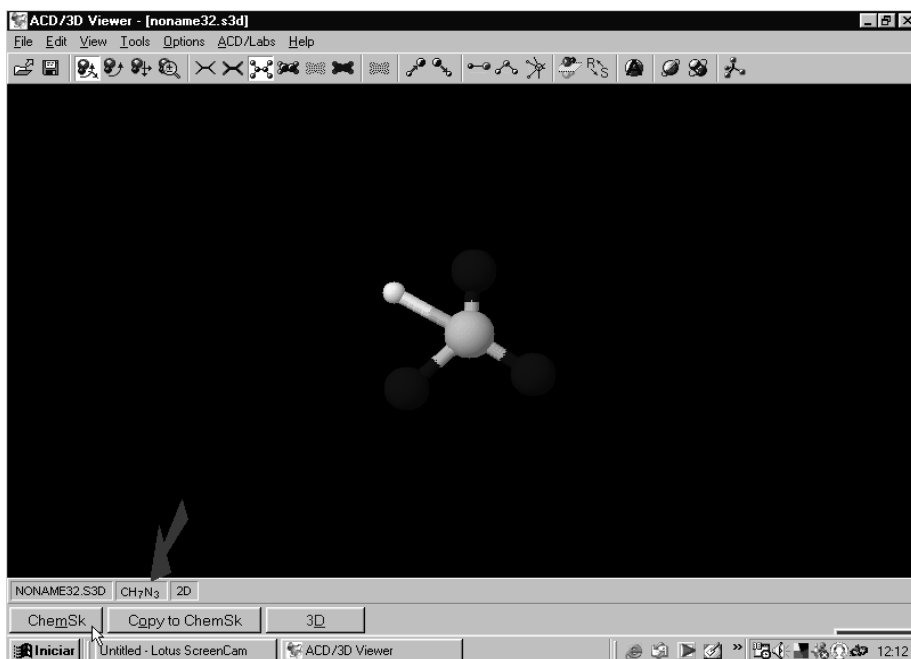


Figura 54 – Estrutura espacial que não apresentava os átomos de hidrogênio existentes no composto.

- O aluno, ao construir o dióxido de enxofre (SO_2), deixa claramente na área de trabalho os hidrogênios ligados ao oxigênio, o que produz o

composto H_2SO_2 (Fig. 55), sendo que ele, ao salvar a estrutura criada, salva com a fórmula SO_2 .

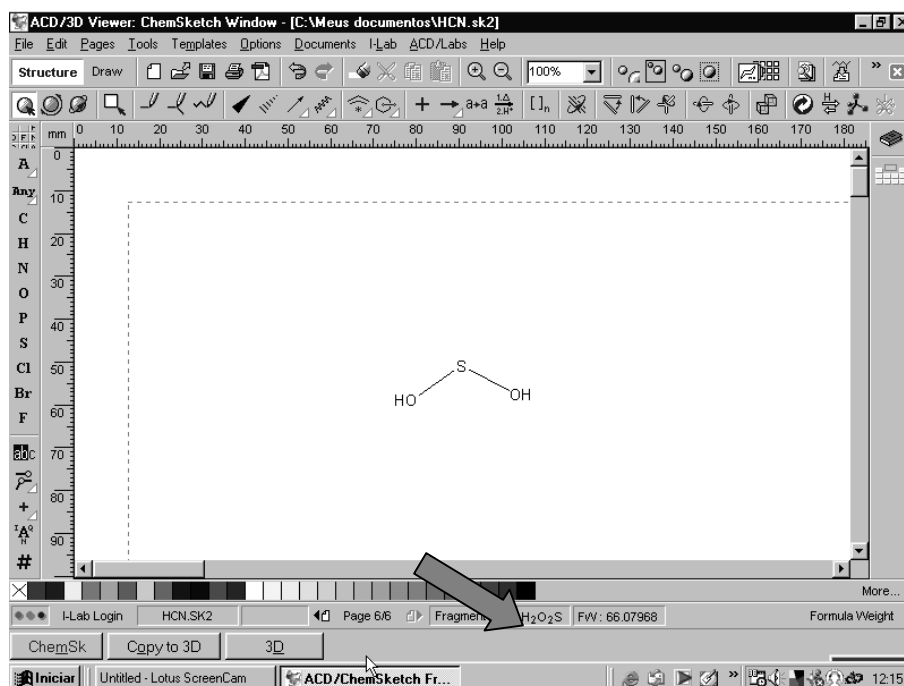


Figura 55 – Estrutura espacial que não apresentava os átomos de hidrogênio.

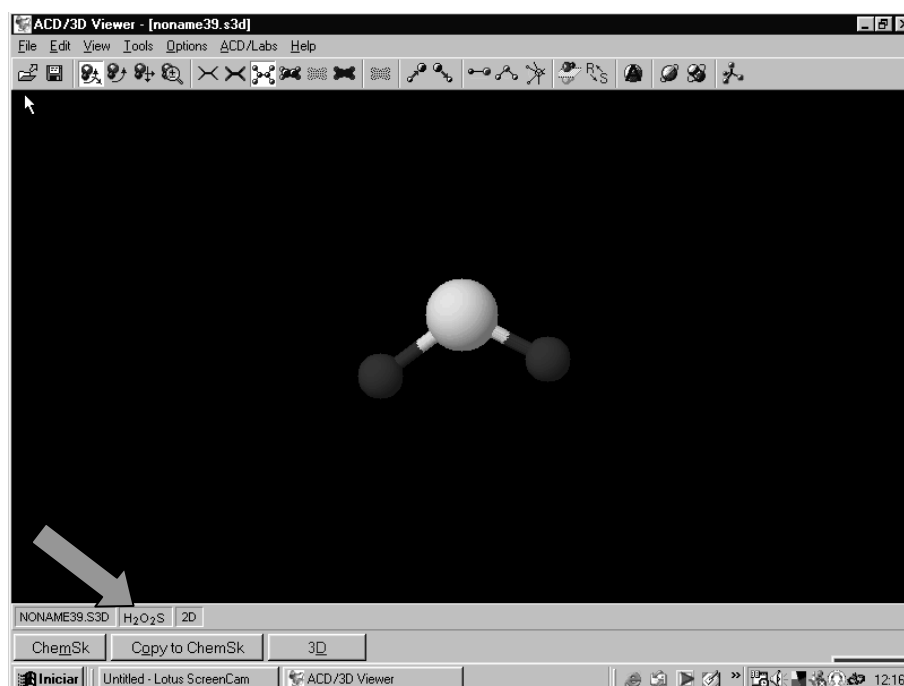


Figura 56 – Estrutura espacial no ACD/3D Viewer que ocultava os átomos de hidrogênio.

- Não consegue observar isso no 3DViewer, porque os átomos de hidrogênios estão ocultos, mas aparecem na área de trabalho, conforme a seta demonstrada (Fig. 56).

Grupo III – Dificuldades na compreensão dos conceitos químicos;

- O aluno tentava ligar o elemento flúor com outro átomo de flúor, que estava ligado ao enxofre, na tentativa de montar o SF_6 , demonstrando assim total desconhecimento com relação às ligações que o flúor pode efetivamente realizar (Fig. 57);

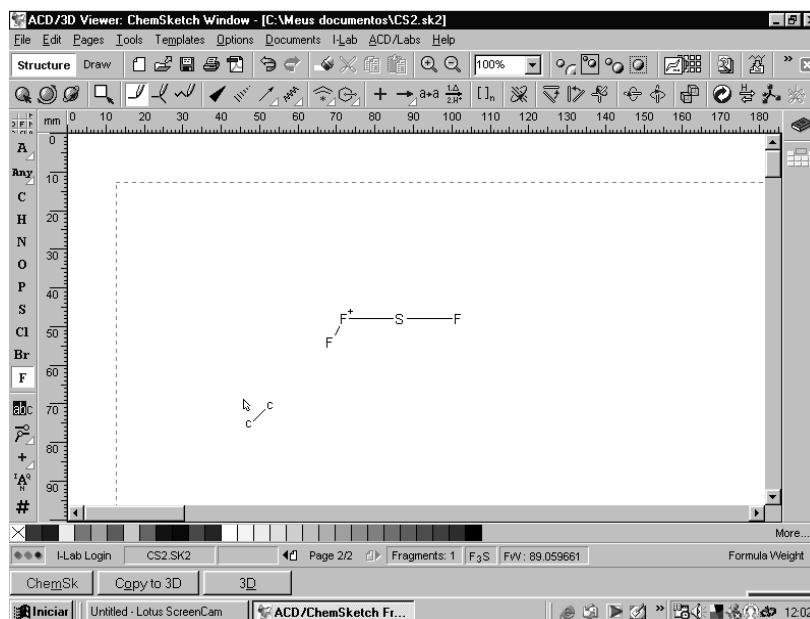


Figura 57 – Montagem inadequada para o composto SF_6

- Dificuldade em interligar os elementos para que fossem efetuadas as ligações entre eles. Na figura a seguir (Fig. 58), foi assinalada por uma seta a construção de duas estruturas separadas (fragments: 2), inviabilizando totalmente a estrutura que está sendo criada.

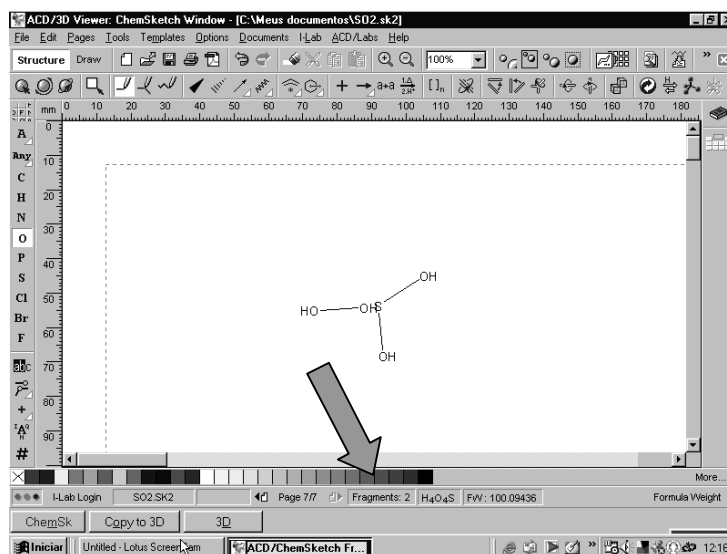


Figura 58 – Montagem com 2 fragmentos de compostos

- Elementos apresentam valências incompatíveis com as ligações reais, conforme o caso do enxofre (com carga +), que o aluno não conseguiu montar porque não eliminou os hidrogênios (Fig. 59). A fórmula pretendida era o trióxido de enxofre (SO_3).

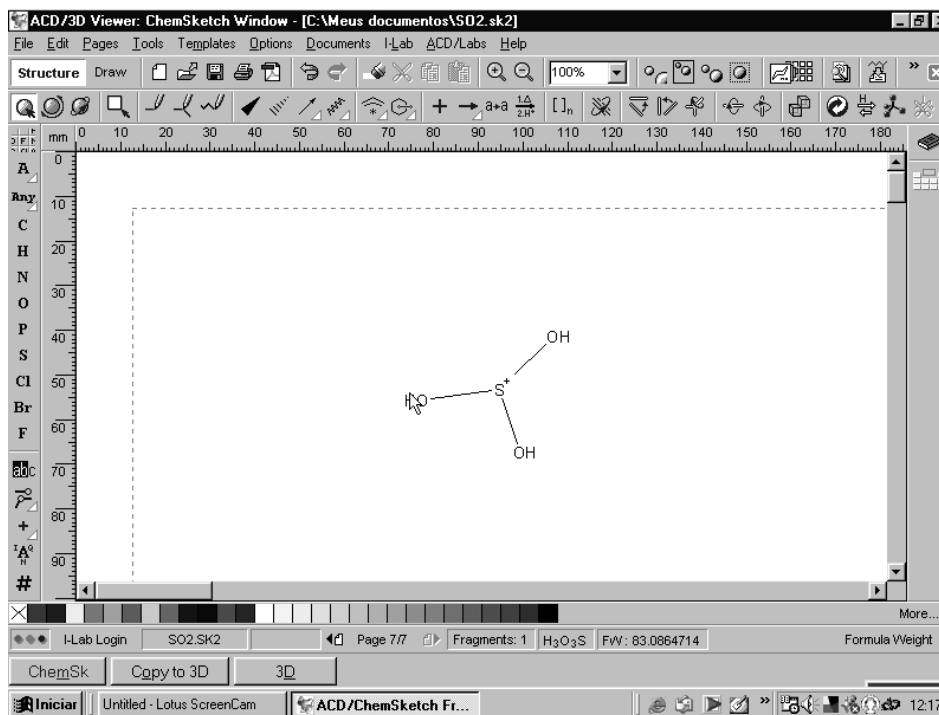
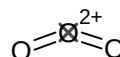


Figura 59 – Montagem de fórmula completamente diferente da solicitada.

Outros aspectos observados foi na construção de uma molécula de gás ozônio (O_3), pelos alunos. A atividade foi cancelada pela dificuldade que os mesmos tiveram na preparação da fórmula estrutural. Na representação de tal fórmula colocavam a ligação coordenada entre os dois átomos de oxigênio além da ligação dupla. O *software* não permitia construir corretamente conforme a figura 60.

Figura 60 – Erro ao executar o *software* para construir uma molécula de gás ozônio - O_3

O mesmo problema não recorreu com o dióxido de enxofre (SO_2), embora os compostos fossem quimicamente similares (figura 61). Do mesmo modo, o trióxido de enxofre (SO_3), que apresenta uma ligação coordenada a mais entre um enxofre e um oxigênio (figura 62).

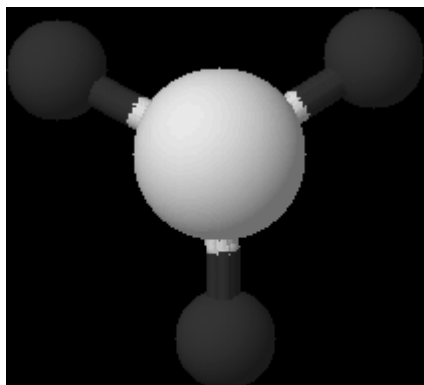


Figura 61 – Estrutura espacial do trióxido de enxofre - SO_3

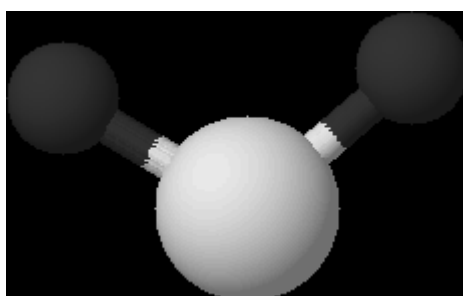


Figura 62 – Estrutura espacial do dióxido de enxofre - SO_2

Alguns alunos manifestaram ter dificuldades com a linguagem do *software*, pois estava em inglês. O fato do *software* estar em língua inglesa dificultava a sua aplicação não conseguiram identificar o significado de determinados comandos, embora o professor/pesquisador tenha explicado anteriormente.

PONTOS POSITIVOS NA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE

Os resultados das análises sugerem que a utilização do *software ChemSketch*[®] pode favorecer aos alunos a aprendizagem de modelos mais adequados para a representação das moléculas, por propiciar a visualização tridimensional das moléculas.

Outro aspecto positivo é a possibilidade de consultar a Tabela Periódica durante a execução das atividades. (figura 63). Além disso, tal *software* não apresenta dificuldades mais complexas.

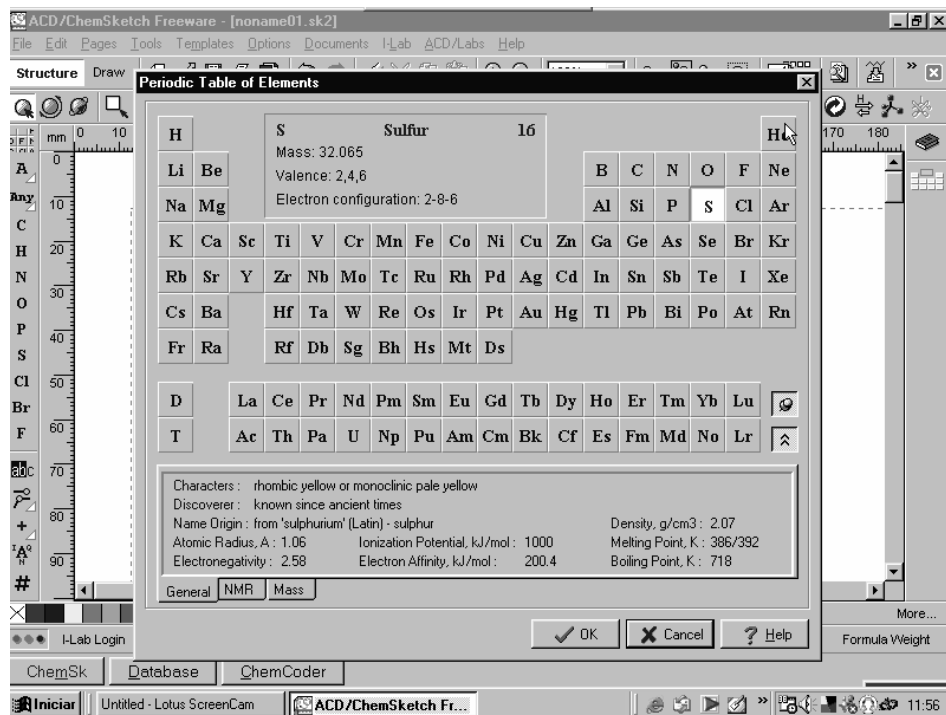


Figura 63 – Utilização da tabela periódica durante a atividade proposta.

- É possível, também, construir moléculas muito bem montadas com angulações perfeitas em relação ao modelo VSEPR, conforme mostram as figuras 64, 65 e 66.

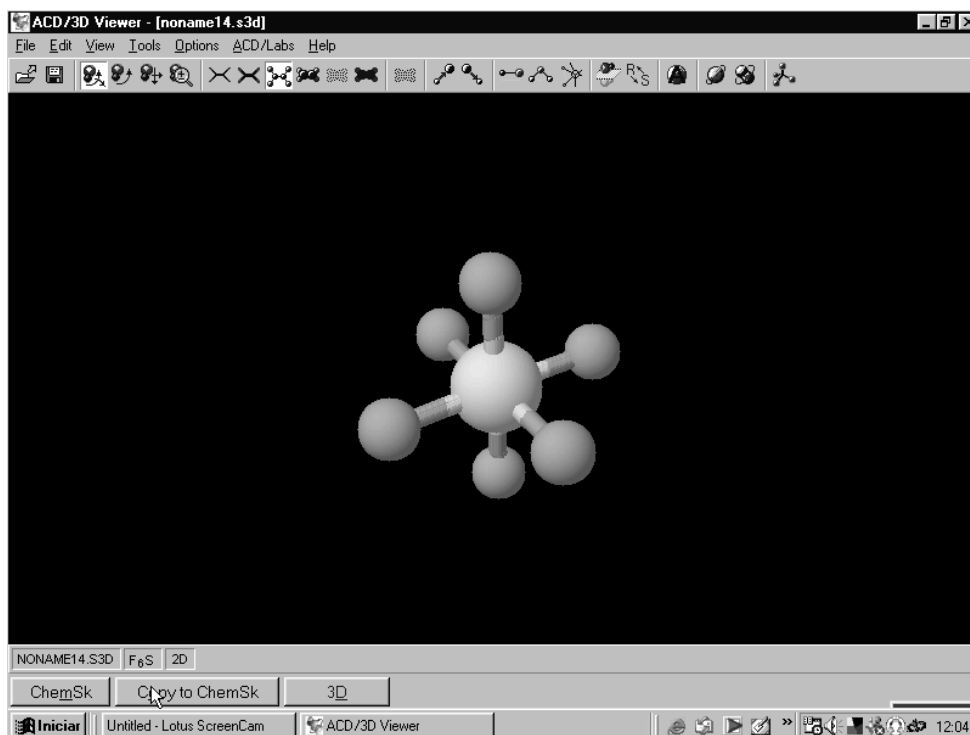


Figura 64 – Montagem de acordo com o modelo VSEPR para o SF₆

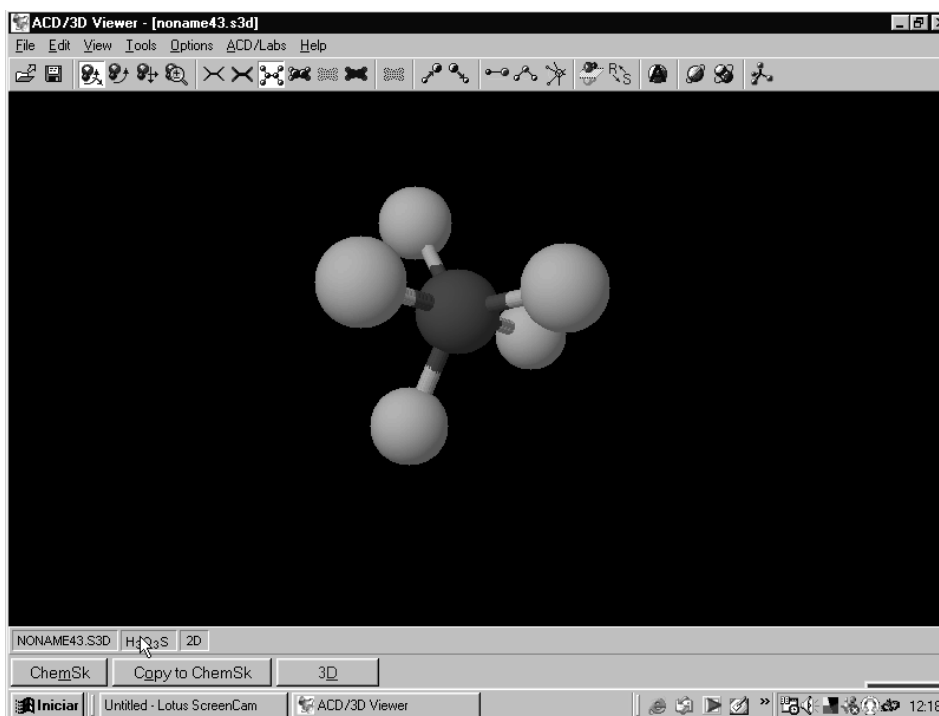


Figura 65 – Montagem de acordo com o modelo VSEPR para o PCl_5

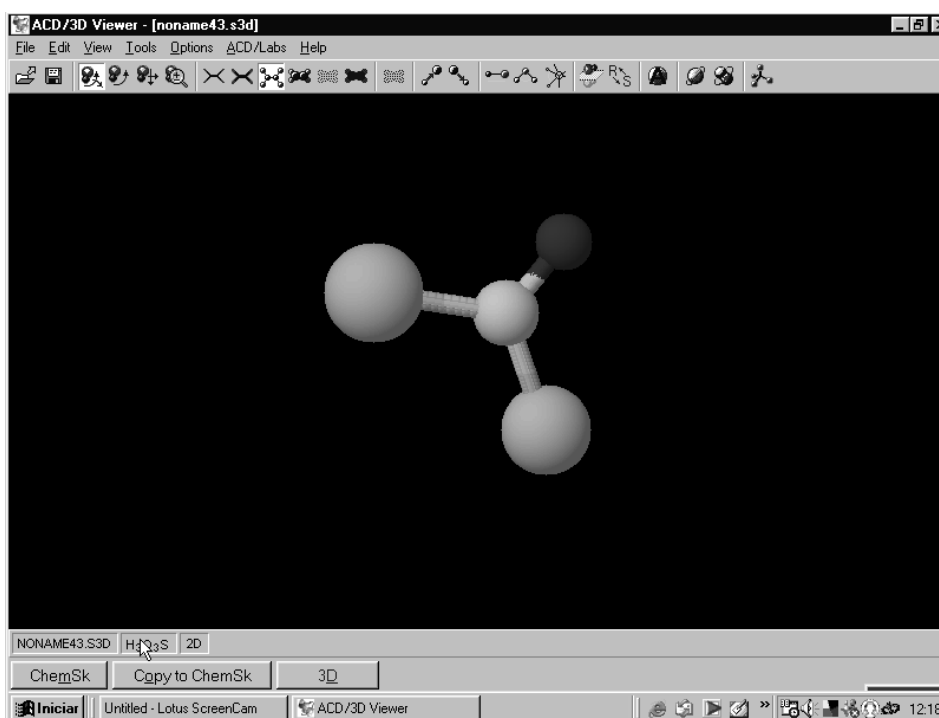


Figura 66 – Montagem de acordo com o modelo VSEPR para o COCl_2

As figuras mostram que a representação espacial dos compostos no *software* facilita a compreensão da geometria valendo-se da estrutura apresentada, demonstrando claramente o VSEPR.

ANALISANDO OS RESULTADOS ENCONTRADOS ENTRE OS GRUPOS D E A: QUADRO E GIZ

O grupo A fez a primeira atividade na sala de aula com quadro e giz e a segunda, no laboratório de tecnologia educacional. O grupo D fez o inverso: passou primeiramente pelo laboratório de tecnologia educacional e depois foi para a aula com quadro e giz.

Analisando os dados (tabela 12), pode-se inferir que o grupo D apresentou uma facilidade maior do que o grupo A para propor a fórmula dos compostos e analisar a geometria da estrutura. É possível explicar este fato, ao ser considerado que o *software* apresenta estruturas no espaço, o que certamente facilita quando se tem que trabalhar apenas no plano.

Tabela 12 – Resultados com a opção “foi fácil” entre os grupos D e A na atividade quadro e giz

	CS ₂	SF ₆	F ₂	CCl ₄	HCN	SO ₂	SO ₃	ClBr	PCl ₃	PCl ₅	COCl ₂
Grupo A	50%	50%	50%	67%	33%	83%	67%	67%	50%	17%	50%
Grupo D	86%	43%	100%	71%	86%	71%	86%	86%	57%	43%	57%

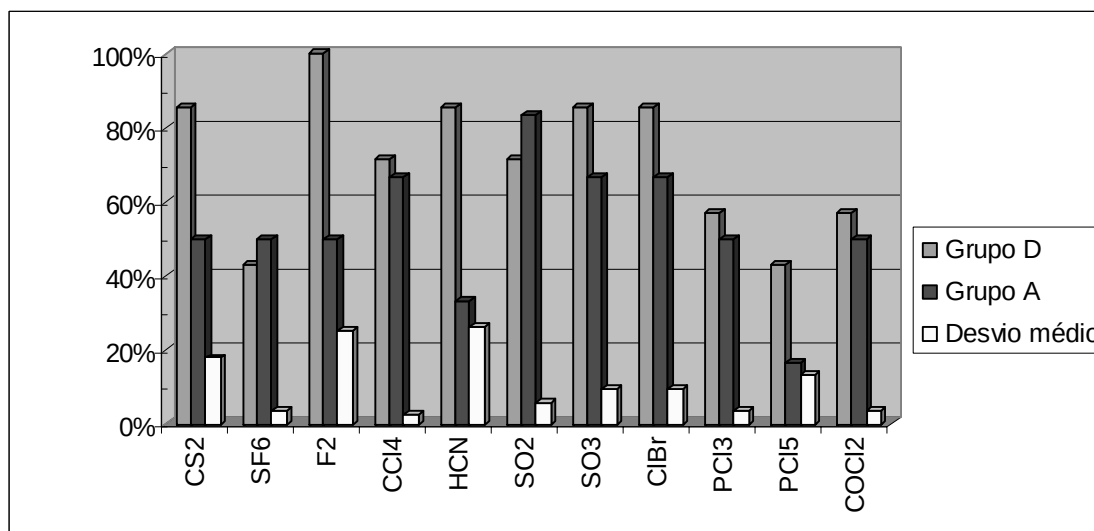


Gráfico 21– Opção “foi fácil” nos grupos D e A na pesquisa quadro e giz

- A molécula de CS₂ apresenta geometria linear, com uma angulação de 180°. Nesse caso, o grupo D encontrou maior facilidade do que o grupo A (gráfico 22),

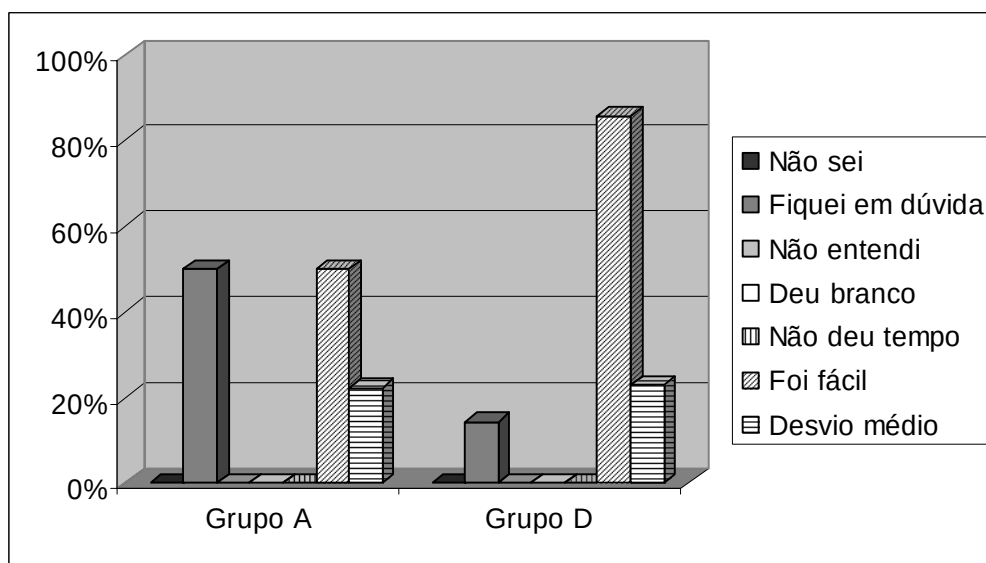


Gráfico 22 – Auto-avaliação do composto CS_2 pelos alunos na tecnologia quadro e giz

- No composto SF_6 , uma molécula octaédrica, com alto grau de dificuldade, o grupo D encontrou menos facilidade para construir e analisar a geometria da fórmula do que o grupo A.

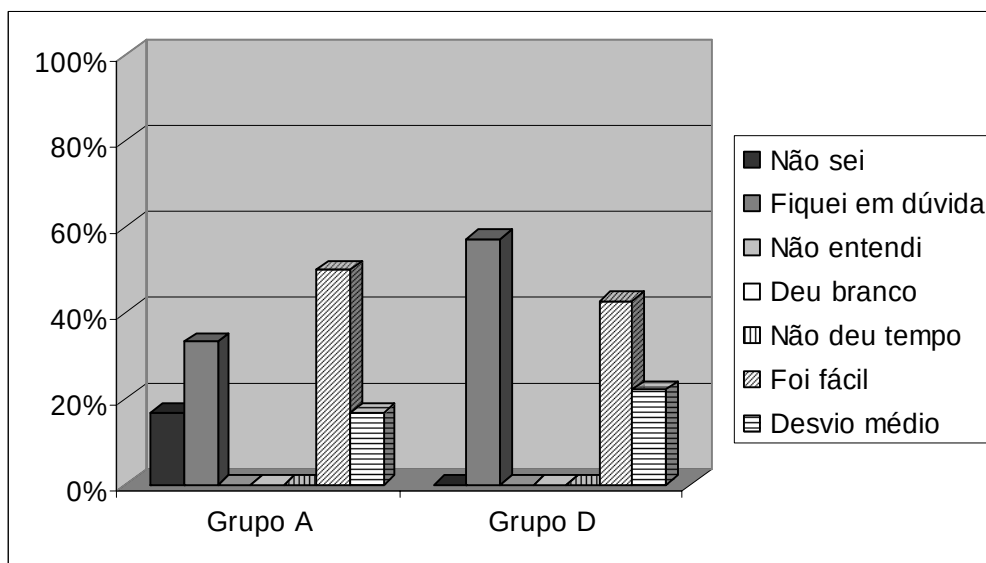


Gráfico 23 – Auto-avaliação do SF_6 pelos alunos na tecnologia quadro e giz

- No composto F_2 - que é uma molécula linear -, com uma pequena dificuldade na montagem do composto, novamente o grupo D apresenta um percentual maior de facilidades do que o grupo A

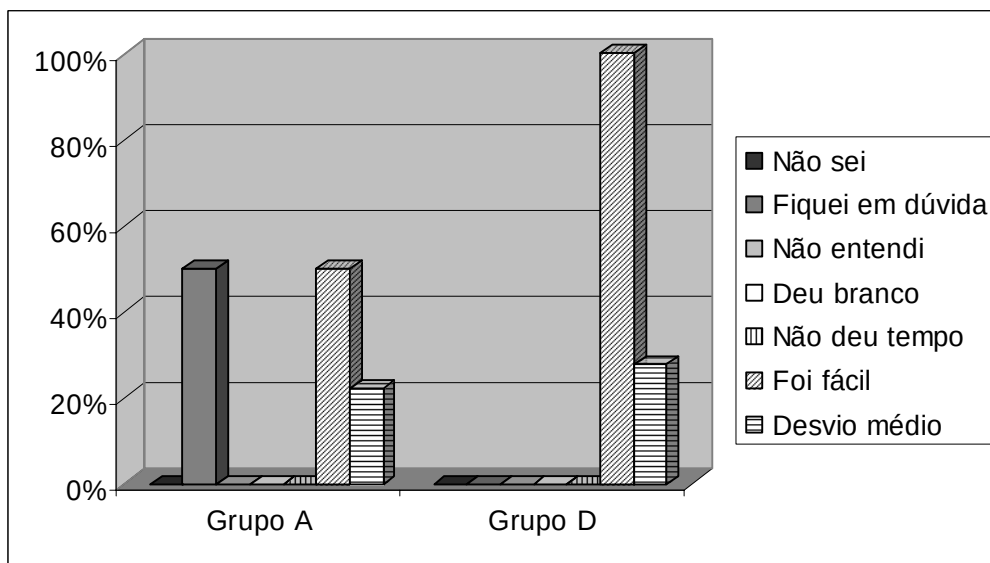


Gráfico 24 – Auto-avaliação do F_2 pelos alunos na tecnologia quadro e giz

- No tetracloreto de carbono (CCl_4), molécula tetraédrica, o grupo D apresenta maior facilidade em montar a estrutura do que o grupo A.

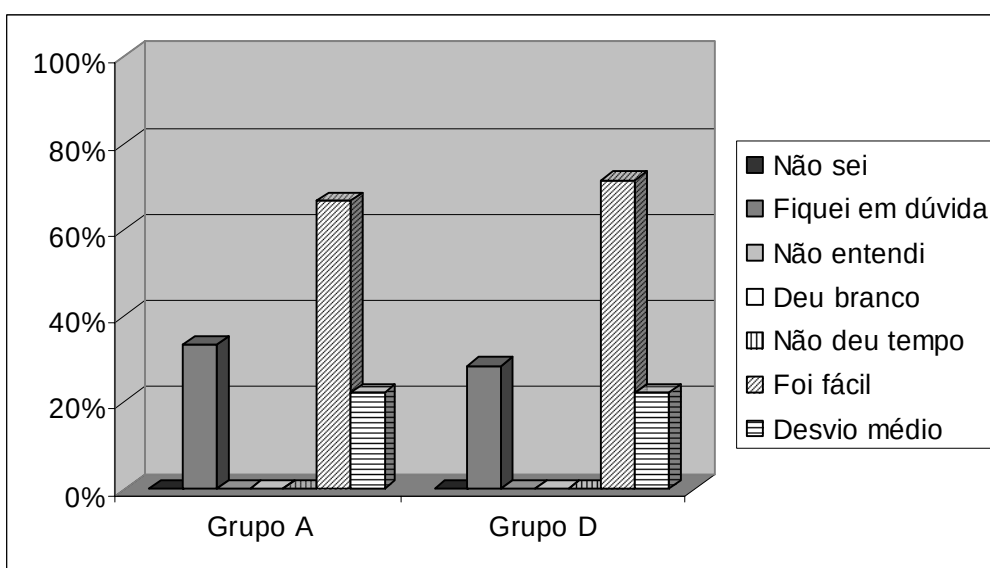


Gráfico 25 – Auto-avaliação do CCl_4 pelos alunos na tecnologia quadro e giz

- No cianeto de hidrogênio (HCN), molécula linear, o grupo D apresenta maior facilidade do que o grupo A.

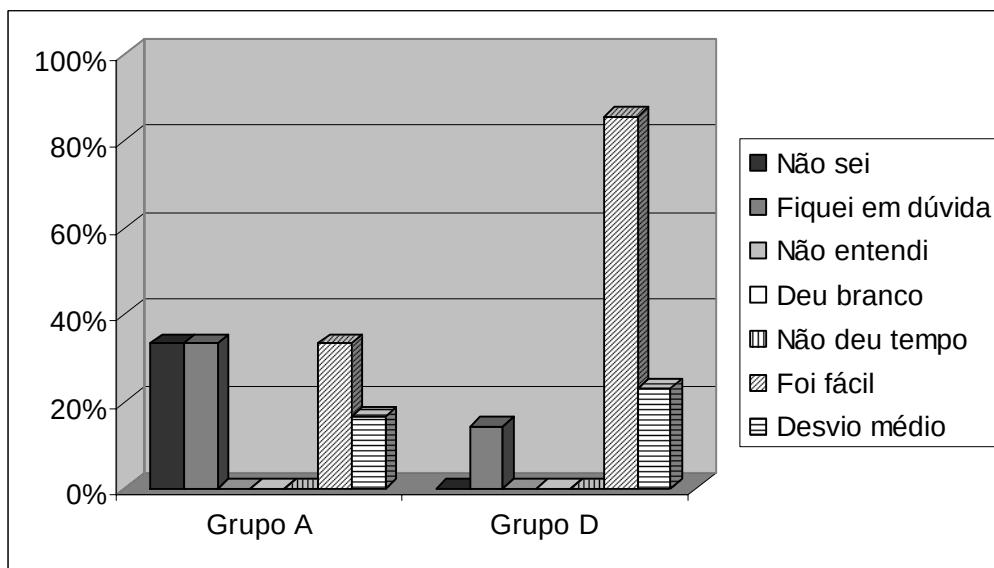


Gráfico 26 – Auto-avaliação do HCN pelos alunos na tecnologia quadro e giz

- No dióxido de enxofre (SO_2), que é uma molécula angular, há uma inversão de resultados, com o grupo A, tendo um percentual maior da opção “foi fácil” do que o grupo D: este apresenta um percentual maior da opção “fiquei em dúvida”.

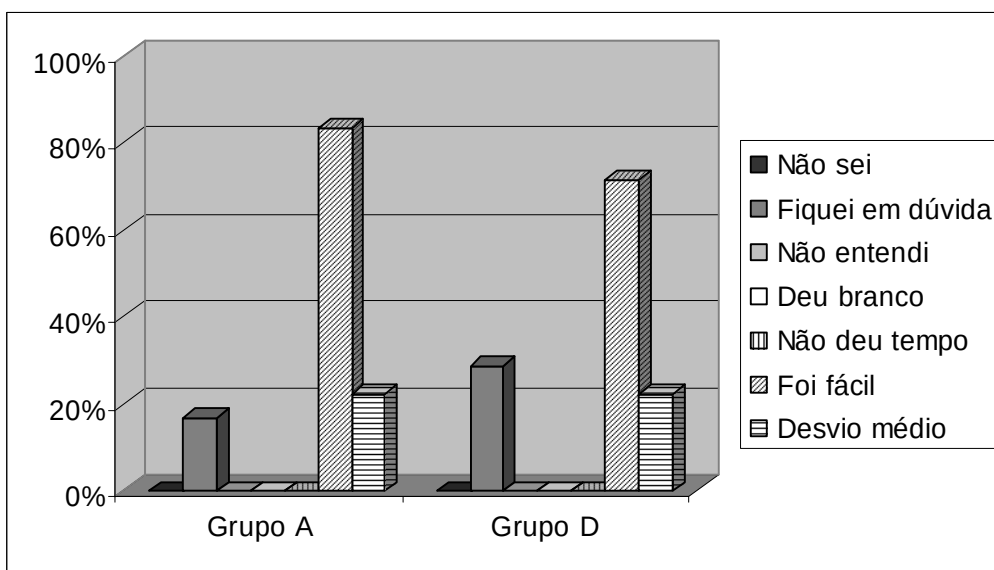


Gráfico 27 – Auto-avaliação do SO_2 pelos alunos na tecnologia quadro e giz

- No trióxido de enxofre (SO_3), molécula trigonal, há a mesma tendência dos resultados anteriores, ou seja, o grupo D apresenta maior facilidade para construir as estruturas do que o grupo A.

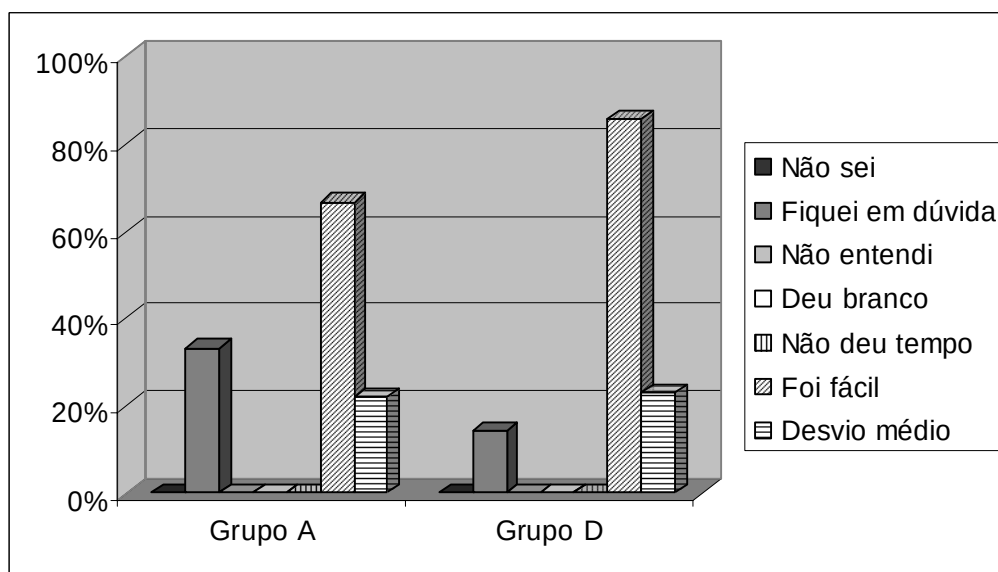


Gráfico 28 – Auto-avaliação do SO_3 pelos alunos na tecnologia quadro e giz

- Na molécula linear de ClBr , o grupo D apresenta maior percentual de facilidade em relação ao grupo A.

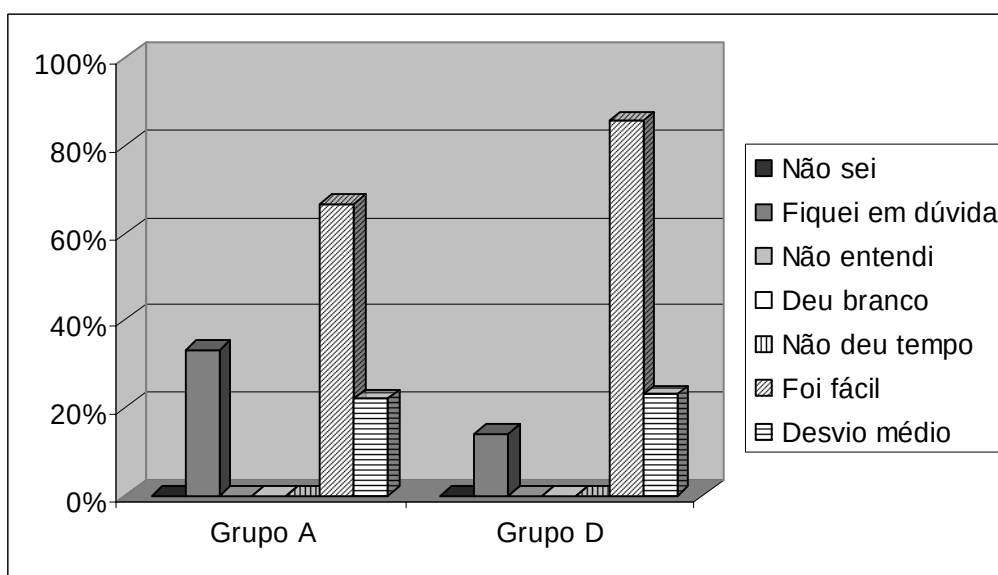


Gráfico 29 – Auto-avaliação do ClBr pelos alunos na tecnologia quadro e giz

- No PCl_3 , uma molécula com grau de dificuldade médio, os resultados encontrados pelos dois grupos foram muito próximos.

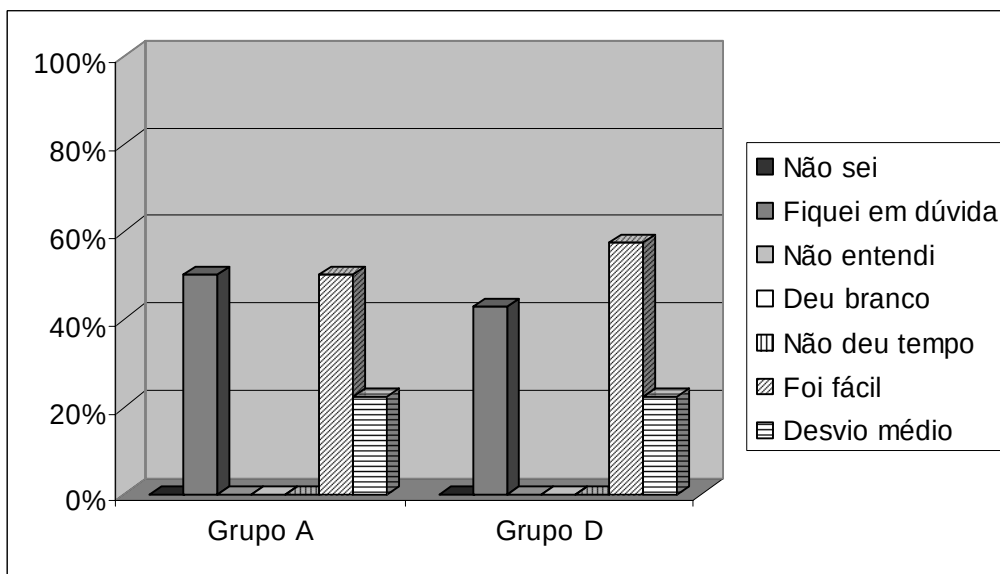


Gráfico 30 – Auto-avaliação do PCl_3 pelos alunos na tecnologia quadro e giz

- No PCl_5 , derivação do PCl_3 , o percentual diminuiu, mas a tendência do grupo D continua sendo maior. É uma molécula de construção complexa que dificulta muito a sua visualização.

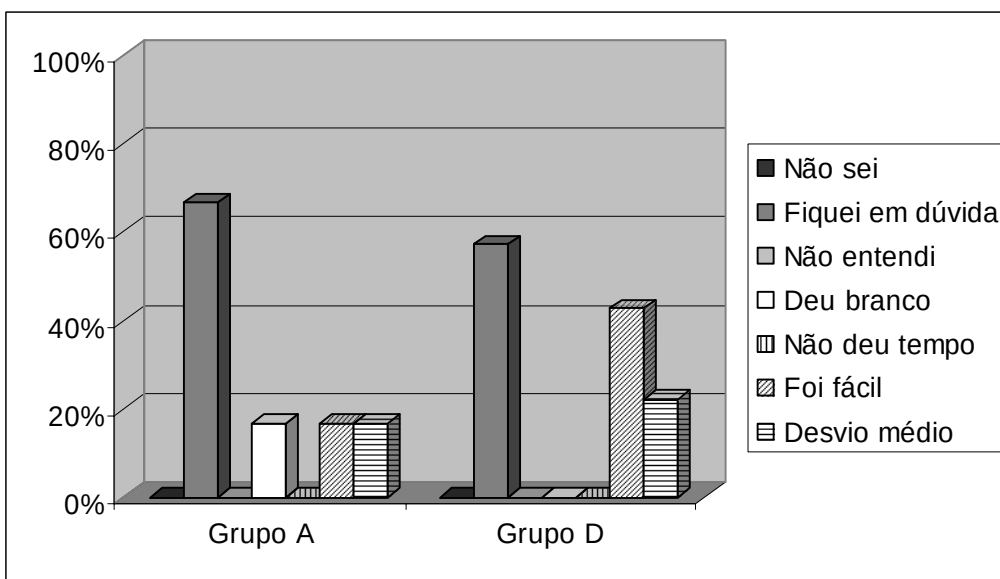
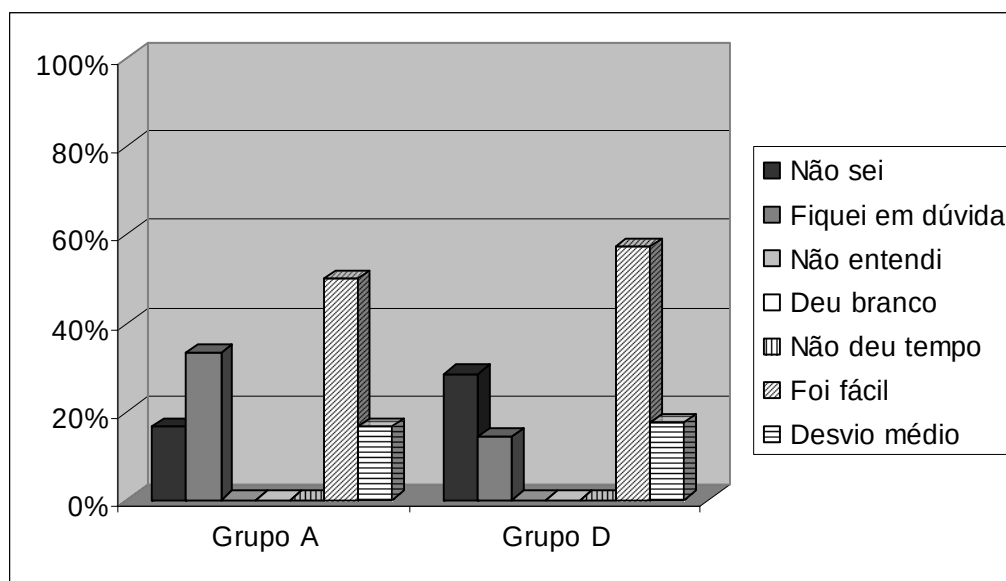
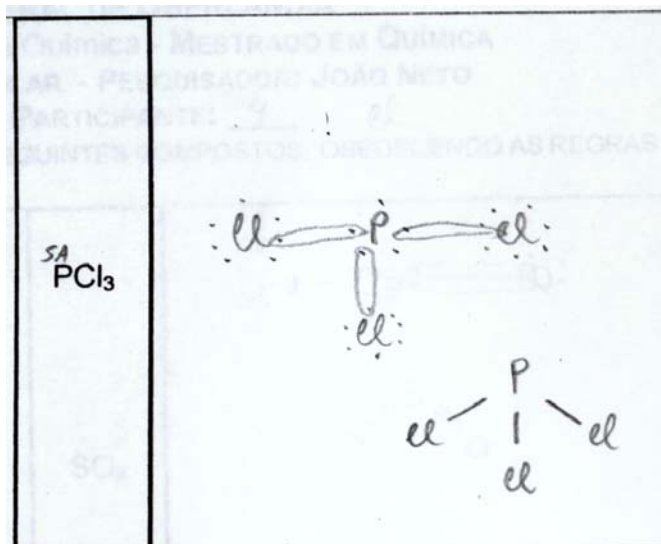


Gráfico 31 – Auto-avaliação do PCl_5 pelos alunos na tecnologia quadro e giz

- Na molécula trigonal COCl_2 , a tendência de resultados permanece caracterizando uma facilidade maior do grupo D, em relação ao grupo A, nessa atividade.

Gráfico 32 – Auto-avaliação do COCl_2 pelos alunos na tecnologia quadro e giz

Analisando as atividades, pode-se inferir que os alunos apresentam modelos geométricos muitas vezes equivocados. Na proposição geométrica para o composto PCl_3 , na atividade em que o professor utilizou quadro e giz, o aluno apresentou a fórmula de Lewis diferente da fórmula estrutural. Na fórmula de Lewis sobrou um par de elétrons, e esse par é importante para definir o tipo de geometria. Ele constrói a fórmula estrutural com a angulação que aquele par de elétrons havia provocado segundo o modelo VSEPR.

Figura 67 – PCl_3 segundo o aluno 7 (grupo D) na tecnologia quadro e giz

- No composto COCl_2 , ocorre a mesma resolução. A fórmula eletrônica apresenta uma geometria diferente da fórmula estrutural, pois quando

define a fórmula eletrônica, ele observa o que ocorre no elemento central e depois define a geometria.

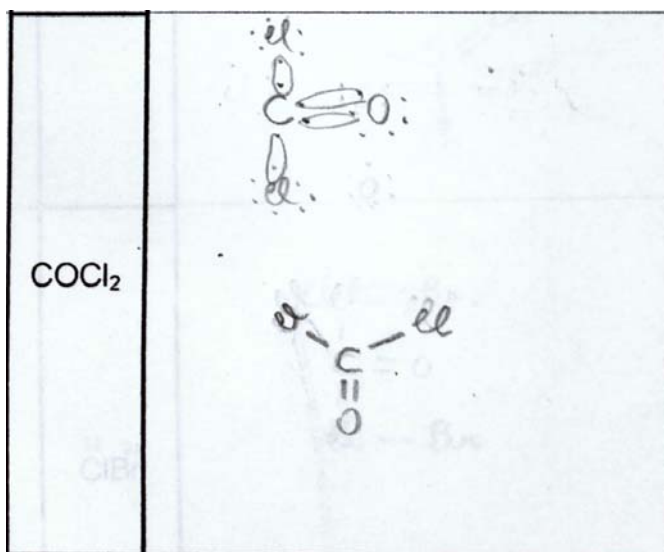


Figura 68 – COCl_2 segundo o aluno 7 (grupo D) na tecnologia quadro e giz

- É possível perceber que alguns alunos desconhecem a regra do octeto, ao construir a estrutura do CS_2 com o carbono, realizando seis ligações covalentes simples e mais, com o aparecimento de uma ligação quádrupla e com elementos iguais (enxofre), realizando quantidade de ligações diferentes.

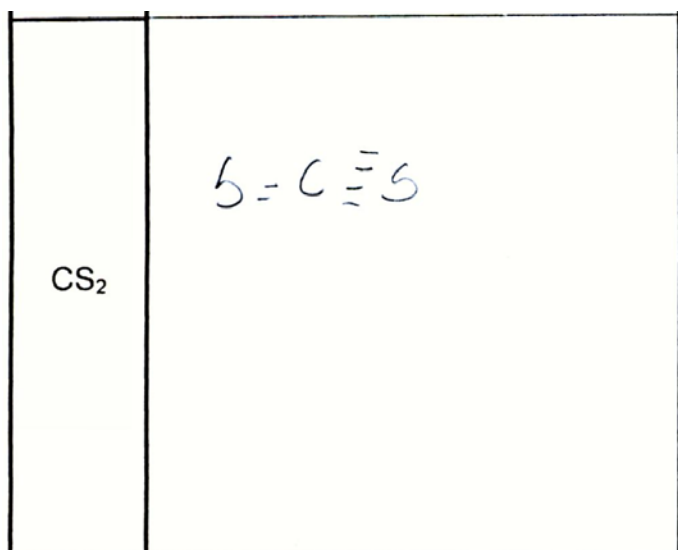


Figura 69 – CS_2 segundo o aluno 4 (grupo D) na tecnologia quadro e giz

A análise dos resultados encontrados entre os grupos D e A na proposição de modelos construídos no quadro negro com giz sugerem que o conteúdo ligações covalentes precisa ser retomado e melhor explicado no grupo.

ANALISANDO OS RESULTADOS ENCONTRADOS ENTRE OS GRUPOS B E C: BOLAS DE ISOPOR

Os grupos B e C executaram a mesma atividade. A diferença foi a ordem. O grupo B trabalhou inicialmente no laboratório de Química com as bolas de isopor e fez a segunda atividade no laboratório de tecnologia educacional. O grupo C fez o caminho inverso: trabalhou no laboratório de tecnologia com o *software ChemSketch*[®] e depois foi montar as estruturas com bolas de isopor.

Foi possível observar que o grupo B realizou a primeira atividade demandando maior período de tempo do que o grupo C, ao mesmo tempo que revela que não teve dificuldades em utilizar as bolas de isopor para representar os compostos.

Tabela 13 – Resultados encontrados entre os grupos B e C – Tecnologia: bola de isopor e vareta

	CS ₂		SF ₆		F ₂	
	Grupo B	Grupo C	Grupo B	Grupo C	Grupo B	Grupo C
Não sei	0,0%	14,3%	12,5%	14,3%	0,0%	0,0%
Fiquei em dúvida	12,5%	28,6%	25,0%	57,1%	0,0%	0,0%
Não entendi	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%
Não deu tempo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Foi fácil	87,5%	57,1%	62,5%	28,6%	100,0%	85,7%

	CCl ₄		HCN		SO ₂	
	Grupo B	Grupo C	Grupo B	Grupo C	Grupo B	Grupo C
Não sei	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%
Fiquei em dúvida	12,5%	42,9%	50,0%	14,3%	50,0%	28,6%
Não entendi	0,0%	42,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Não deu tempo	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	12,5%	0,0%
Foi fácil	87,5%	14,3%	37,5%	85,7%	37,5%	57,1%

	SO ₃		ClBr		PCl ₃	
	Grupo B	Grupo C	Grupo B	Grupo C	Grupo B	Grupo C
Não sei	0,0%	0,0%	0,0%	28,6%	0,0%	14,3%
Fiquei em dúvida	25,0%	28,6%	0,0%	14,3%	25,0%	28,6%
Não entendi	12,5%	14,3%	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Não deu tempo	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Foi fácil	50,0%	57,1%	100,0%	57,1%	62,5%	57,1%

	PCl ₅		COCl ₂	
	Grupo B	Grupo C	Grupo B	Grupo C
Não sei	0,0%	28,6%	12,5%	14,3%
Fiquei em dúvida	25,0%	71,4%	12,5%	28,6%
Não entendi	12,5%	0,0%	25,0%	0,0%
Deu branco	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Não deu tempo	37,5%	0,0%	25,0%	0,0%
Foi fácil	25,0%	0,0%	25,0%	57,1%

Observando a tabela e o gráfico 33, constata-se que o grupo B considerou “fácil” a montagem das estruturas do CS₂, SF₆, F₂, CCl₄, ClBr, PCl₃, PCl₅.

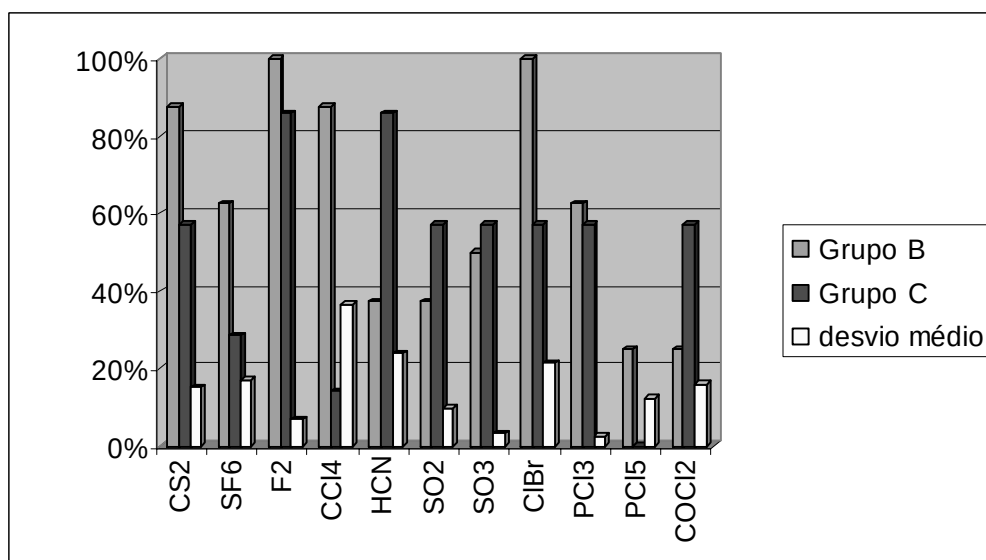


Gráfico 33 – Opção “foi fácil” nos grupos B e C na pesquisa com bola de isopor

A observação e análise das estruturas criadas por meio de modelos sugere que possa haver:

- Mesmo trabalhando no espaço, o aluno projeta a estrutura do PCl₅ imaginando um plano (figuras 70 e 71). Isso decorre da falta de

habilidade para visualização de imagens. Essa situação pode ser observada no grupo B e C.



Figura 70 – Estrutura do PCl_5 construída pelo participante 4 (grupo C) com bola de Isopor

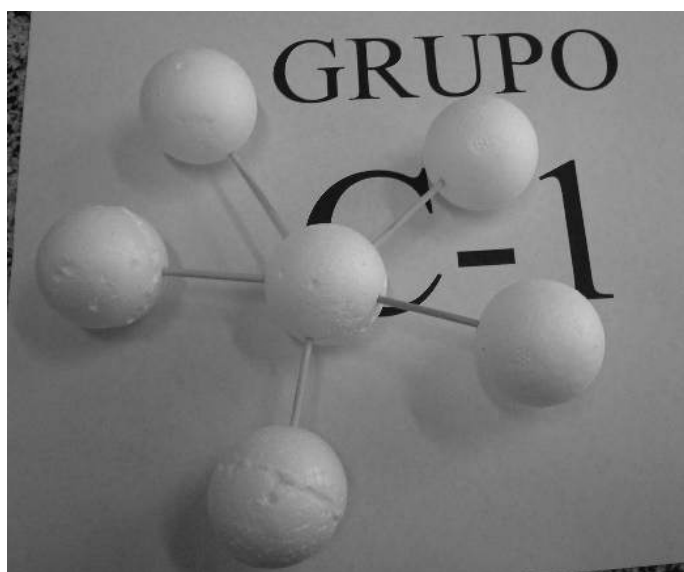


Figura 71 – Estrutura do PCl_5 construída pelo participante 1 (grupo C) com bola de Isopor.

- A mesma dificuldade de trabalhar no espaço acontece no composto CCl_4 , que é uma molécula tetraédrica (figuras 72 e 73). Na introdução do modelo VSEPR, um dos exemplos mostrados era do CH_4 , uma molécula com geometria análoga. Os dois grupos apresentaram dificuldades para associar a representação.

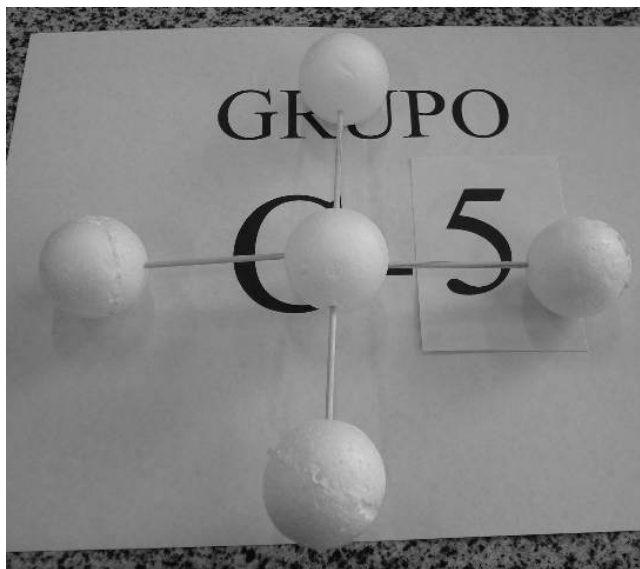


Figura 72 – Estrutura do CCl_4 construída pelo participante 5 (grupo C) com bola de isopor.



Figura 73 – Estrutura do CCl_4 construída pelo participante 6 (grupo B) com bola de isopor.

Alguns dos alunos do grupo B que montaram a estrutura do COCl_2 com bolas de isopor (figura 74). Depois no *software* representaram adequadamente compostos semelhantes. Tal situação sugere que a utilização depois do *software* pode auxiliar a aprendizagem, se for explorado em uma proposta de ensino mais ampliada.

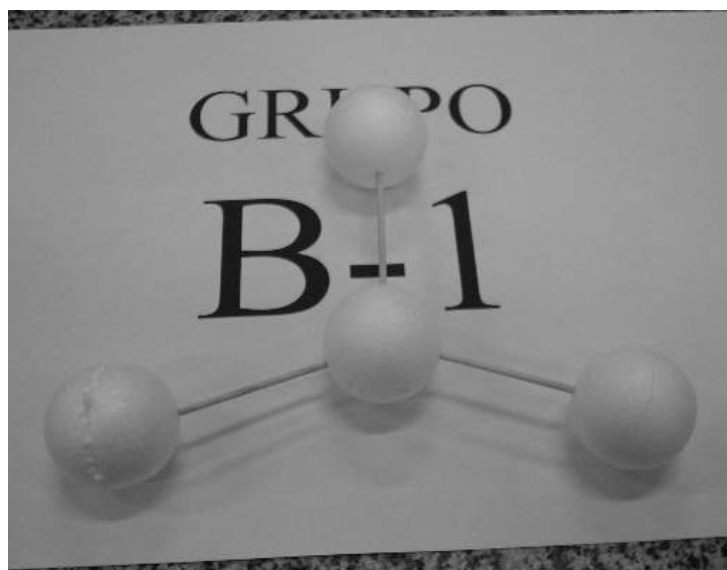


Figura 74 – Estrutura do PCl_3 construída por um aluno (grupo B) com bola de Isopor .

Os resultados encontrados entre os grupos B e C na construção geométrica com bolas de isopor sugerem que o trabalho com material concreto facilita a utilização do software em função de uma maior visão espacial dos compostos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho se propôs a investigar a utilização de diferentes tecnologias no ensino de Geometria Molecular e, fundamentalmente, identificar se o *software ChemSketch*[®] potencia ou desfavorece a elaboração de modelos mais adequados de estruturas químicas.

O interesse pela investigação traduziu-se nos seguintes questionamentos: Quais as tecnologias que podem ser exploradas em uma aula de Geometria Molecular? Como favorecer uma aprendizagem mais significativa e efetiva para os alunos? Quais as possibilidades das aprendizagens se efetivaram na integração das diferentes tecnologias? Será que a utilização do *software ChemSketch*[®], como tecnologia de apoio ao ensino, ajudará os alunos a compreenderem melhor o tópico do conteúdo que trata sobre Geometria Molecular? Quais são as possibilidades na utilização dessa tecnologia? Em que esta se difere das outras?

Os resultados apresentados e discutidos permitem reforçar a idéia de que as aprendizagens que envolvem o estudo do tópico do conteúdo que trata sobre Geometria Molecular são particularmente complexas, pois os alunos têm dificuldades na previsão da geometria das moléculas.(BIRK; KURTZ; 1999; FURIO; 1996; LOBO; 1998). Nesse sentido, é fundamental criar dispositivos para reproduzir as principais geometrias e, assim, facilitar as aprendizagens dos alunos superando suas dificuldades. Tais dispositivos podem recorrer ao uso de modelos e/ou protótipos como tentativa de uma aproximação modelada visto que os sentidos são limitados não permitindo visualizar diretamente o objeto e/ou fenômeno em estudo. Assim, em uma construção mais elaborada pode-se dispor de uma variedade de materiais didáticos, desde livros de texto até a tecnologia pedagógica de última geração, com abundantes imagens e representações diversas - desenhos e diagramas, fotografias de grande realismo até gráficos e fórmulas muito abstratas -. (GUEVARA; VALDEZ, 2004).

Tradicionalmente, nas abordagens didático-pedagógicas prevalece a utilização de desenhos no quadro de giz, livros didáticos, cartazes, bolas de isopor e varetas, bexigas de ar, massas de modelar e modelos comerciais. Raramente os professores de Química lançam mão dos *softwares*. Nesse sentido, entende-se que cada uma das tecnologias utilizadas nas situações de ensino oferece alguma

potencialidade específica, e estas particularidades são as que precisam ser ressaltadas. Não se trata, então, de saber qual é a melhor e o que pode ser feito com cada uma delas, mas em que podem ser mais úteis (ZABALA, 1998).

A utilização do *software ChemSketch*[®] indicia que os alunos não obtiveram grandes avanços na proposição de modelos. Tal resultado pode reduzir o entusiasmo de quem acredita que o *software* oferece a possibilidade de fazer os alunos a entender a representação geométrica das moléculas. Nesse sentido, é necessário refletir sobre como usar essa tecnologia. É claro que esse ponto não significa que a utilização do *software* seja o problema, todavia, há uma série de intervenientes que podem ter influenciado nas aprendizagens dos alunos. Um dos intervenientes decorre da interação do aluno com o *software*. Outro interveniente é a própria concepção do professor que esquece ser o *software* apenas uma ferramenta que “*per si*” não promove a aprendizagem, sendo fundamental a sua presença atuando de forma ativa e criativa nesse processo, apresentando modelos, facilitando interações, fazendo mediações, propondo explicações, (re)direcionando o foco e oferecendo opções a seus alunos.

Todavia, a utilização do *software* de modo integrado favoreceu uma maior compreensão dos alunos na proposição de formas representacionais das moléculas.

Desse modo, não obstante aos múltiplos desdobramentos e análises que poderiam ser feitas das situações de ensino vividas, os resultados apontam que a utilização integrada de diferentes tecnologias possibilita apresentar várias formas de mostrar o mesmo objeto, representando-o sob ângulos e meios diferentes: pelos movimentos, mudanças de cenários, integração de formas mais tradicionais de ensino com tecnologias mais avançadas. Nesse sentido, a integração das diferentes tecnologias possibilitou aos alunos o contato com outras linguagens e códigos, motivando-os nas aprendizagens, pois, embora o conteúdo explorado nas situações de ensino fosse o mesmo, este adquiriu uma outra dimensão, visto que permitiu diferentes percursos de aprendizagem.

Sem ter a pretensão de dizer a última palavra em relação ao tema aqui tratado pode-se mostrar que o trabalho abre outras perspectivas, talvez, como ponto de partida, para futuras pesquisas que, utilizando os resultados aqui discutidos, possam apontar um campo bastante amplo, para o tratamento investigativo sobre os processos de ensino-aprendizagem mediados pelo computador e sobre a integração de diferentes tecnologias.

REFERÊNCIAS

ANJOS, E. I.; GIORDAN, M. Visualização molecular como estratégia para ensinar química orgânica. In: XI Encontro Nacional de Ensino de Química, 2002, Recife. **Livro de resumos**, 2002. v. 1. p. 167 - 167.

ANJOS, E. I. **Modelos mentais e visualização molecular**: uma estratégia para ensinar química orgânica. 2004. 120f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Física, Instituto de Química, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2004.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Trad. Ricardo Bicca de Alencastro. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 968p.

BARNEA, N.; DORI, Y. J. High school chemistry students' performance and gender differences in a computerized molecular modeling learning environment. **Journal of Science Education and Technology**, New York, v. 8, n. 4, p. 257 - 271, 1999.

_____. Computerized molecular modeling the new technology for enhancing model perception among chemistry educators and learners. **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 1, n. 1, p. 109 - 120, 2000.

http://www.uoi.gr/conf_sem/cerapie/pdf/16barneaf.pdf. Acesso em: 20 set 2006.

BIRK, J. P.; KURTZ, M. J. Effect of Experience on Retention and Elimination of Misconceptions about Molecular Structure and Bonding. **Journal of Chemical Education**, New York, n. 76, p. 124 -128, 1999

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Portugal: Porto Editora, 1994. 336p.

BONILLA, M. H. S. **Escola Aprendente**: para além da sociedade da informação. Rio de Janeiro: Quartet, 2005. 224p.

BROOK, D. W. Science education notes: The teaching of organic chemistry in school - Can we learn from the Kenyan experience. **School Science Review**, London, v. 69, n. 248, p. 575 - 578, 1988.

CHANG, C.-Y. Comparing the Impacts of a Problem-based Computer-Assisted Instruction and the Direct-Interactive Teaching Method on Student Science Achievement. **Journal of Science Education and Technology**, New York, v.10, n.2, p.147 - 153, 2001.

COPOLO, C. F.; HOUNSHELL, P. B. Using three-dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry. **Journal of Science Education and Technology**, New York, v. 4, n. 4, p. 295 - 305, 1995.

DORI, Y. J. Cooperative development of organic chemistry computer assisted instruction by experts, teachers and students. **Journal of Science Education and Technology**, New York, v. 4, n. 2, p. 163 - 170, 1995.

DORI, Y. J.; HAMEIRI, M. The "Mole Environment" study ware: Applying multidimensional analysis to quantitative chemistry problems. **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n. 3, p. 317 - 333, 1998.

EICHLER, M. L.; DEL PINO, J. C. **Ambientes virtuais de aprendizagem**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2006. 175p.

FURIÓ, C.; CALATAYUD, M. L. Difficulties with the geometry and polarity of molecules. Beyond misconceptions. **Journal of Chemical Education**, New York, v. 73, p. 36 - 41, 1996.

GABEL, D.; BUNCE, D. M. Research on problem solving: Chemistry. In: GABEL, D. L. (Ed.). **Handbook of research on science teaching and learning**. New York: MacMillan, 1994. p. 301 - 326.

GASTEIGER, J.; ENGEL, T. **Chemoinformatics: a Textbook**. Germany: Wiley-VCH, 2003. 680p.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C; RUTHERFORD, M. Explanations with Models in Science Education. In: GILBERT, J. K; BOULTER, C. **Developing Models in Science Education**. First Edition. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. p. 193 - 208, 2000.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C. Stretching models too far. In: **Annual meeting of the American Educational Research Association**, San Francisco, 22 - 26, Apr. 1995.

GILLESPIE, R. J., ROBINSON, E. A. Electron Domains and the VSEPR Model of Molecular Geometry. **Angewandte Chemie International Edition in English**, Washington, n. 33, p. 495 - 514, 1996.

GILLESPIE, R. J. Teaching Molecular Geometry with the VSEPR Model. **Journal of Chemical Education**, New York, v. 81, p. 298 - 304, 2004.

GIORDAN, M. O computador na educação em ciências: breve revisão crítica acerca de algumas formas de utilização. **Revista Ciência e Educação**, Bauru, v. 11, n. 2, p. 279 - 304, 2005.

GUEVARA, M.; VALDEZ, R. Los modelos en la enseñanza de la Química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje. **Educación Química**, v. 15, n.3, p.243-247, 2004.

HARDWICKE, A. J. Using molecular models to teach chemistry. **School Science Review**, London, v. 77, n. 278, p. 59 - 64, 1995.

INGHAM, A. M.; GILBERT, J. K. The Use of Analogue Models by Students of Chemistry at Higher Education Level. **International Journal of Science Education**, London, v. 13, n. 2, p. 193 - 202, 1991.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, London, n. 7, p. 75 - 83, 1991.

JOHNSTONE, A. H.; LETTON, K. M. Investigating undergraduate lab work. **Education in Chemistry**, London, n. 28, p. 81 - 83, 1990.

KIBOSS, J. K. Impact of a computer-based physics instruction program on pupils' understanding of measurement concepts and methods associated with school science. **Journal of Science Education and Technology**, New York, v. 11, n. 2, p. 193 - 198, 2002.

KOZMA, R. B.; RUSSELL, J.; JONES, T.; MARX, N.; DAVIS, J. The use of multiple, linked representations to facilitate science understanding. In: VOSNIADOU, R. G. S.; DECORTE, E.; MANDEL, H. (Ed.). **International perspective on the psychological foundations of technology-based learning environments**. Hillsdale: Erlbaum, 1996. p. 41-60

KRAJCIK, J. S. Developing students' understanding of chemical concepts. In: GLYNN, S. M.; YEANY, R. H.; BRITTON, B. K. (Eds.). **The psychology of learning science**. Hillsdale: Erlbaum, 1991. p. 117 - 145.

LAVILLE, C.; DIONNE, J. **A construção do saber**: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999. 340p.

LEVINE, F. S. Concepts and models. **Education in Chemistry**, London, v. 11, n. 3, p. 84 - 85, 1974.

LOBO, V. M. M. A utilidade dos diagramas de Lewis no ensino da Química. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, Lisboa, n. 70, p. 13 - 17, 1998

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisas em educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986. 99p.

MILAGRES, V. S. O. ; JUSTI, R. S. Modelos de ensino de equilíbrio químico – algumas considerações sobre o que tem sido apresentado em livros didáticos no Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 13, p. 41 - 46, 2001.

NERSESSIAN, N. J. Should physicists preach what they practice? Constructive modeling in doing and learning physics. **Science and Education**, v. 4, n. 3, p. 203 - 226, 1995.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**. Trad. Márcia Guekezian, 3ª ed., São Paulo: Pearson Makron Books. 2006. 621p.

RYLES, A. P. Teaching A-level organic chemistry mechanisms: Some suggestions. **School Science Review**, London, v. 72, n. 258, p. 71 - 74, 1990.

SANT'ANNA, C. M. R. Glossário de termos usados no planejamento de fármacos (recomendações da IUPAC para 1997). **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 3, 2002.

SANTOS, H. F. O conceito de modelagem molecular. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 4, p. 4 - 5, mai, 2001.

SCHMIDT, H. J. Conceptual difficulties with isomerism. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 29, n. 9, p. 995 - 1003, 1992.

SEBALDT, R. T. Information technology and the future of medical education. **Clin Invest Med**, Toronto, v. 20, n. 6, p. 419 – 421, 1997.

SEDDON, G. M.; SHUBBER, K. E. The effects of color in teaching the visualization of rotation in diagrams of three dimensional structures. **British Educational Research Journal**, Oxford, n. 11, p. 227 - 239, 1985.

SEDDON, G. M.; MOORE, R. G. An unexpected effect in the use of models for teaching the visualization of rotation in molecular structures. **European Journal of Science Education**, London, v. 8, p. 79 - 86, 1986.

SHANI, A.; SINGERMAN, A. A self-study, one paced basic organic chemistry course. **Journal of Chemical Education**, New York, v. 59, p. 223 - 224, 1982.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. **Química Inorgânica**. Trad. Maria Aparecida Gomes, 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2003. 820p.

SILVA, R. M. G. . Formação docente: outra lógica frente aos desafios da informatização. In: FONSECA, S. G.; BARAÚNA, S. M.; MIRANDA, A. B. (Org.). **O uno e o diverso na educação escolar**. Uberlândia: EDUFU, 2005. p. 28 - 42.

SIMPSON, P. A new organic mythology. **Education in Chemistry**, London, v. 20, n. 5, p. 166, 1983.

TABER, K. S. Student Understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic framework? **School Science Review**, London, n. 78, p. 85 - 95, 1997.

TIBERGHIE, A. Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. **Learning and Instruction**, Oxford, v. 4, n. 1, p. 71 - 87, 1994.

TUCKEY, H., SELVARATNAM, M., BRADLEY, J., Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation and reflection. **Journal of Chemical Education**, New York, v. 68, n. 6, p. 460 - 464, 1991.

ZABALA, A. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

WHITTEN K. W.; DAVIS R. E.; PECK L.; STANLEY G. G. **General Chemistry**, 7th ed., EUA: Brooks Cole, 2003. 1224p.

WU, H., KRAJCIK, J. S., SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: Students' use of visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 38, n. 7, p. 821 - 842, 2001.