UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP

Instituto de Física
Instituto de Química
Instituto de Biociências
Faculdade de Educação

Claudia Ayres

**Representações tridimensionais de moléculas: o
papel da interatividade sob o olhar das
habilidades visuoespaciais**

São Paulo

2018

Claudia Ayres

**Representações tridimensionais de moléculas: o papel da interatividade
sob o olhar das habilidades visuoespaciais**

Versão Original

Tese apresentada à Faculdade de
Educação, Instituto de Física, Instituto
de Química e Instituto de Biociências
para obtenção do título de Doutora em
Ensino de Ciências, área de
concentração Química

Orientador: Prof. Dr. Guilherme A.
Marson

São Paulo

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Ayres, Claudia

Representações tridimensionais de moléculas: o papel da interatividade sob o olhar das habilidades visuoespaciais. São Paulo, 2018.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson.
Área de Concentração: Química.

Unitermos: 1. Química – Estudo e ensino; 2. Habilidades visuoespaciais; 3. Tecnologias da informação e do conhecimento; 4. Representações; 5. Estrutura tridimensional de moléculas.

USP/IF/SBI-073/2018

Nome: Ayres, Claudia

Título: Representações tridimensionais de moléculas: o papel da interatividade
sob o olhar das habilidades visuoespaciais

Tese apresentada à Faculdade de Educação, Instituto de
Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências para
obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências,
área de concentração Química

Aprovada em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

*"I am among those who think that
science has great beauty."*
Marie Curie

Agradecimentos

Começo meus agradecimentos não por ordem de importância racionalizada, mas por ordem de Gratidão, aquela que emerge dos sentimentos mais genuínos de bondade que podemos ter.

E por isso, sou grata à Deus, ou como alguns preferem designar, ao Universo ou a uma Força Maior que rege a tudo e a todos. Agradeço primeiramente a Ele/Ela porque se todas as engrenagens da Vida não estivessem devidamente encaixadas, absolutamente nada seria possível, nem a minha existência. Portanto, sou grata à Ele por permitir que eu exista e tenha capacidade e condições para desenvolver este trabalho.

Sou grata aos meus pais porque me deram a chance de viver e este Presente eu jamais conseguirei retribuir. Não bastasse este Presente, eles ainda me ensinaram a amar de múltiplas formas, inclusive o amor ao saber, ao conhecimento, um bem que ninguém nos tira e que aprendi com um professor querido, Nilson Machado, que quanto mais usamos, mais novo fica. Foi aí que entendi porque sou Professora.

E justamente por ser Professora, agradeço a cada um dos meus alunos, desde o início de minha caminhada docente. Saibam que um pouquinho de cada um de vocês ficou em mim, me forma, me compõem como Professora e como Pessoa. Alguns se tornaram amigos, além de ex-alunos e tenho a honra de compartilhar de suas caminhadas na vida. Outros são uma terna lembrança, mas saibam que todos compõem a profissional que sou.

Agradecimento mais que especial ao meu orientador, Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson, que antes de ser meu orientador, é meu colega de turma da graduação. Olha como a Vida é! Nos formamos juntos e cada um trilhou seu caminho e, quando menos podíamos imaginar, nos reencontramos nos papéis de orientador e orientanda mais de 20 anos depois. Um feliz reencontro! Obrigada pela orientação cuidadosa, pela sensibilidade de entender os caminhos que percorri e por estar por perto sempre que se fez necessário. Gratidão.

E, claro, não podia deixar de agradecer ao meu filho, Caio, por todo seu Amor, compreensão e paciência em trilhar ao meu lado mais este momento, aos meus irmãos Leandro, Leila e Lucas e aos meus amigos, representados aqui pelo Armando, Camila, Priscila, Daniel, Leila, José Antônio (Chablau) e, graças a Deus, tantos outros que acompanharam de perto todo o processo de construção deste trabalho. Muito obrigada! Certeza que sem vocês ao meu lado, eu não teria sanidade mental nem equilíbrio emocional para realizá-lo. Gratidão.

Resumo

AYRES, Claudia. **Representações tridimensionais de moléculas: o papel da interatividade sob o olhar das habilidades visuoespaciais**. 2018. 110 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências, área de concentração: Química) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Comumente, estudos sobre visualização de moléculas baseiam-se em duas abordagens: i-tomar dados semi-quantitativos gerais de muitos indivíduos, ii – tomar dados qualitativos específicos com pequenos grupos. Nesta pesquisa propomos uma metodologia de registro e análise das interações de estudantes com representações de estruturas moleculares tridimensionais interativas que pode contemplar as duas abordagens. Parte-se de um problema que é a manipulação de uma representação de estrutura molecular interativa até que o aluno a considere igual a outra representação estrutural estática da mesma molécula. No processo, registra-se a curva da diferença de orientação entre as representações versus o tempo. Além do tempo de resolução (tRes) e do tempo total (tTot), registra-se a posição da representação a cada movimento do estudante. Foram realizadas tomadas de dados com 50 estudantes (17 de cursinho popular e 33 graduandos em cursos de química e correlatos), por meio de uma sequência incluindo os seguintes testes e questionários: questionário de exposição prévia e familiaridade com representações de estruturas moleculares, teste de interpretação de representações estáticas 3D para 2D, teste de rotação mental (PVRot), teste de Ishihara para daltonismo, questionário de usabilidade, e a aplicação da ferramenta com as versões colorida (CPK) e cinza do modelo bola-bastão da molécula da batracotoxina. A análise hierárquica de grupos dos dados indica 4 perfis distintos: 1 (n=21, tRes colorido=16s, tRes cinza=13s); 2 (n=9, tRes colorido=25s, tRes cinza=77s), 3 (n=8, tRes colorido=53s, tRes cinza=24s) e 4 (n=12, tRes colorido=19s, tRes cinza=31s). A baixa correlação de Pearson (-0,39) entre PV-ROT e tRes sugere que o fato das representações serem interativas permite superar diferenças individuais na habilidade de rotação, sobretudo nos grupos 2, 3 e 4. Átomos coloridos parecem ser referências visuais importantes para estudantes de 2 e 4. Não se observou diferenças significativas de gênero.

Palavras chaves: Habilidades visuoespaciais. Tecnologias da informação e do conhecimento. Representações. Estrutura tridimensional de moléculas.

Abstract

AYRES, Claudia. **Three-dimensional representations of the molecule: the role of interactivity under the scope of visual-spatial abilities**. 2018. 110 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências, área de concentração: Química) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Studies on visualization of molecules are commonly based on two approaches: i – collecting general semi-quantitative data from several individuals, ii – collect specific qualitative data from small groups. In this research, we propose a register methodology and analysis of interactions of students with interactive three-dimensional molecule structures that might contemplate both approaches. Initially, the task students are presented with is the manipulation of the representation of an interactive molecular structure up to the point when the student considers it equal to another static structural representation of the same molecule. During the process, the curve depicting the difference between the representations versus time is registered. Besides the resolution time (tRes) and the total time (tTot), the position of the representation at each of the student's movements is also registered. The data were collected with 50 students (17 from a college-entrance-exam preparation course aimed at low-income persons and 33 undergraduates attending Chemistry colleges and similar ones), through a sequence including the following tests and questionnaires: questionnaire on previous exposure and familiarity with molecular structure representations, test of interpretation of static 3D to 2D representations, test of mental rotation (PV-Rot), Ishihara test for color blindness, questionnaire on usability, and the application of the tool with the color (CPK) and grey versions of the ball-bat model of the batracotoxin molecule. The hierarchic analysis of groups of data indicates 4 distinct profiles: 1 (n = 21, color tRes = 16s, grey tRes = 13s); 2 (n = 9, color tRes = 25s, grey tRes = 77s); 3 (n = 8, color tRes = 53s, grey tRes = 24s) and 4 (n = 12, color tRes = 19s, grey tRes = 31s). The low Pearson correlation (-0.39) between PV-Rot and tRes suggests that the fact that the representations are interactive makes it possible to overcome individual differences in the rotation ability, especially in groups 2, 3 and 4. Colored atoms seem to be important visual references for students in groups 2 and 4. No significant gender differences were observed.

Key words: visuospatial ability; information and knowledge technology; representations; three-dimensional molecular structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equação do potencial de Lennard-Jhones da interação entre átomos ou moléculas	14
Figura 2: Diagrama do potencial de Lennard-Jhones para o modelo SPC/E da interação entre átomos O	14
Figura 3: Linus Pauling, fotografado com modelos da estrutura alfa hélice de proteínas.	15
Figura 4: Exemplos dos níveis de representação do conhecimento químico segundo Johnstone	17
Figura 5: Relação entre o modelo científico, consensual, de ensino e mental.	19
Figura 6: Representação dos eixos das coordenadas x, y e z.	41
Figura 7: Excerto do teste de Ishihara	46
Figura 8: Excerto do teste de Interpretação de representações moleculares	47
Figura 9: Excerto do teste de <i>Purdue Visualization Rotation Test</i>	48
Figura 10: Tela do Visualizador Molecular	49
Figura 11: Dendograma resultante da análise por agrupamento hierárquico das respostas referentes à percepção de exposição prévia e familiaridade dos estudantes.	60
Figura 12: Dendograma resultante da análise por agrupamento hierárquico das respostas referentes ao PVRot e aos tRes e tTot.	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: exemplo de um resolugrama do teste da molécula colorida do indivíduo	42.
Gráfico 2: Visualização de representações moleculares impressas X nível de ensino	55
Gráfico 3: Visualização de representações moleculares estáticas (PC) X nível de ensino	55
Gráfico 4: Visualização de representações moleculares físicas X nível de ensino	56
Gráfico 5: Visualização de representações moleculares interativas no PC X nível de ensino	56
Gráfico 6: Manipulação com modelos tridimensionais não interativos X nível de ensino	56
Gráfico 7: Manipulação com modelos tridimensionais físicos X nível de ensino	57
Gráfico 8: Manipulação com modelos tridimensionais interativos no PC X nível de ensino	57
Gráfico 9: Frequência de uso de modelos para fins de estudo X nível de ensino	57
Gráfico 10: Teste sobre interpretação de representações 2D X nível de ensino	59
Gráfico 11: Resolugrama da molécula colorida do indivíduo 13 (grupo 1).	70
Gráfico 12: Resolugrama da molécula cinza do indivíduo 13 (grupo 1).	70
Gráfico 13: Resolugrama da molécula colorida do indivíduo 11 (grupo 2)	71
Gráfico 14: Resolugrama da molécula cinza do indivíduo 11 (grupo 2)	72
Gráfico 15: Resolugrama da molécula colorida do indivíduo 12 (grupo 3)	72
Gráfico 16: Resolugrama da molécula cinza do indivíduo 12 (grupo 3)	73
Gráfico 17: Resolugrama da molécula colorida do indivíduo 20 (grupo 4)	74
Gráfico 18: Resolugrama da molécula cinza do indivíduo 20 (grupo 4)	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Interpretação de Especialistas e de Alunos da representação visual da estrutura molecular da água.	23
Tabela 2 – Sequência da tomada de dados	49
Tabela 3 – Conjunto de dados de 4 participantes da amostra	53
Tabela 4 – Dados estatísticos dos grupos para a exposição prévia e a familiaridade às representações não interativas	61
Tabela 5 – Dados estatísticos dos grupos para a exposição prévia e a familiaridade à representações interativas	62
Tabela 6 - Caracterização da amostra a partir do PVRot	64
Tabela 7 - Caracterização de cada grupo em função dos dados do visualizador	68
Tabela 8 – Coeficiente de Pearson PVRot X tRes Cor e tRes Cinza	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	Cursinho
Diff	Diferença de orientação
F	Feminino
G	Graduação
HCA	Hierarchical Cluster Analysis
HTML	Hypertext Markup Language
JSMol	Java Script Molecular
M	Masculino
PC	Personal Computer
PVRot	Purdue Virtual Rotation Test
STEAM	Science, Technology, Engineer, Arts and Mathematics
tAjust	Tempo de ajuste
tRes	Tempo de Resolução
tTot	Tempo total

Sumário

Capítulo 1 – Introdução	14
1.1 - Visualização na Química	14
1.2 - A proposição de Analogias	19
1.3 - Representações Computacionais	24
1.4 – Implicações das representações visuais analógicas da estrutura molecular	27
Capítulo 2 – Referencial Teórico	29
2.1 - Visualização e Modelos Mentais	29
2.2 - Habilidades Visuoespaciais	32
2.3 - Teoria da Carga Cognitiva	35
Capítulo 3 – Problema e Objetivos	37
3.1 – Questão de Pesquisa	37
3.2 - Objetivos	38
3.3 - Hipótese do trabalho	38
Capítulo 4 - Desenvolvimento da ferramenta de obtenção de dados	40
4.1 - Metodologia de Pesquisa	40
4.2 – Componentes da amostra	51
4.3 – Tratamento dos dados	52
Capítulo 5 – Análise Global dos Resultados	53
5.1 – Descrição do conjunto de resultados obtidos	53
5.2 – Análise e discussão dos fatores referentes à exposição prévia e familiaridade com os modelos moleculares	54
5.2.1 – Análise global dos dados	54
5.2.2 – Análise Hierárquica por Agrupamento (HCA)	61
Capítulo 6– Relação entre a Habilidade Visuoespacial de Rotação e o Processo de Interação com Representações 3D Interativas	65
6.1 – Distribuição geral dos dados obtidos com o visualizador e o PVRot	65
6.2 – Análise de Resolugramas de cada grupo	70
Capítulo 7 – Considerações Finais	76
Capítulo 8 – Referências Bibliográficas	81

Anexos

Anexo A - Termo de consentimento livre e esclarecido	85
Anexo B - Teste de Ishihara	86
Anexo C - Teste de Interpretação de representações moleculares	93
Anexo D – Teste PVRot (<i>Purdue Visualization Rotation Test</i>)	96
Anexo E – Tela Inicial do visualizador molecular	99
Anexo F - Questionário sobre o esforço mental	100
Anexo G - Questionário de Usabilidade	100
Anexo H – Tabela com os indivíduos da amostra e os parâmetros da pesquisa	101

Capítulo 1 - Introdução

1.1 – Visualização na Química

Qual a importância das representações moleculares tridimensionais na ciência? Mais especificamente, porque os químicos usam representações moleculares tridimensionais das moléculas? Todo o conhecimento do universo observável, fenomenológico se dá pelos sentidos, pelo sensorial. Mas o entendimento, a compreensão de seu comportamento só é possível a partir do universo particulado, submicroscópico, formado por átomos, moléculas, ligações químicas, entre outros conceitos já devidamente reconhecidos como abstratos visto que não são tangíveis de forma direta. Todo o entendimento sobre a existência destas partículas, sua descrição, a enunciação conceitual da estrutura particulada se deu através de conceitos respaldados pelas relações matemáticas, pois foram enunciados pelos físicos.

Figura 1: Equação do potencial de Lennard-Jones da interação entre átomos ou moléculas.

$$V_r^{LJ} = 4\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r_{ij}} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r_{ij}} \right)^6 \right]$$

Fonte: Chaplin, 2018

Figura 2: Diagrama do potencial de Lennard-Jones para o modelo SPC/E da interação entre átomos O.

Fonte: Chaplin, 2018

No entanto, o uso destas relações matemáticas para o entendimento do universo particulado é bastante restrito visto ser uma linguagem pouco acessível e pouco operacional. E porque o uso destas relações matemáticas é escasso no que se refere à compreensão deste universo que os químicos fazem uso das representações moleculares. Já em 1932, Pouler (1932) afirmava que

“A estrutura do átomo ainda é uma problemática e os físicos e os químicos ainda não encontraram um acordo sobre um conceito comum. O átomo dinâmico de Bohr oferece uma explicação razoável e lógica de muitos fenômenos físicos, particularmente a produção de luz de certos comprimentos de onda e a transferência de energia de uma substância para outra. Quando um químico tenta aplicar esta teoria, ele se depara com a dificuldade dos elétrons em movimento compatíveis com a valência, com combinações estáveis e isomerismo. Os químicos, geralmente, têm menos interesse em questões de energia, preferindo assumir um átomo estático no qual os elétrons são mantidos em posições fixas ou ao menos que suas posições relativas não mudem.”

O interesse em tratar o universo particulado a partir de representações moleculares, expressando ideias as quais representam avanços relevantes, pode ser exemplificado pela proposição da estrutura alfa hélice das proteínas feita por Linus Pauling, tendo como dados experimentais “algumas fotos de difração de fios de cabelo e seu aguçado bom-senso químico. Essas duas ferramentas, associadas ao uso de modelos moleculares, levaram Pauling a deduzir a estrutura...” (THIEMANN, 2003). Este trabalho lhe rendeu o prêmio Nobel.

Figura 3: Linus Pauling, fotografado com modelos da estrutura alfa hélice de proteínas.

Fonte: Thiemann, 2003

O trabalho de Pauling pela estrutura de alfa hélice das proteínas denota como o cientista usa uma relação analógica para construir uma representação análoga ao modelo conceitual de fato, não só o modelo matemático. Esta representação cumpre importante função ao prover elementos operacionais que facilitam muito o trabalho de manipulação e elaboração mental dos conceitos químicos.

Se os químicos planejassem as sínteses dos compostos a partir do Hamiltoniano que relaciona os estados de energia dos reagentes de partida com as respectivas funções de onda, provavelmente o registro do *Chemical Abstract Service* - CAS (www.cas.org) não indicaria mais de 100 milhões de substâncias em 100 anos. Inclusive, Perkin sintetizou a Mauveína em 1856, primeiro pigmento sintético, 48 anos antes da proposição do modelo de Thomson, e 60 anos antes da proposição teórica para ligação química de Lewis.

O conhecimento químico está fortemente vinculado às visualizações se partirmos da premissa que a Química é uma ciência visual. A primeira percepção da ocorrência das transformações químicas é sensorial, mas a estruturação do conhecimento no cognitivo do aluno depende de sua capacidade de transitar entre os modos representacionais e de se apropriar de modelos mentais explicativos coerentes com os modelos científicos da área.

Nesta área do conhecimento as explicações e previsões são trabalhadas em três modos de representação: o macroscópico, o submicroscópico e o simbólico (GABEL, 1999). Segundo Johnstone (1991) o modo macroscópico (ou fenomenológico) corresponde às representações mentais ou internas obtidas a partir dos fenômenos observáveis percebidos através dos sentidos; o modo submicroscópico é relativo às representações abstratas como os modelos explicativos para a estrutura da matéria; o modo simbólico é identificado através do uso de fórmulas, equações, etc para expressar os conceitos químicos. A compreensão do conhecimento químico implica na compreensão e transição entre estes três modos de representação (JOHNSTONE, 1993).

Figura 4: Exemplos dos níveis de representação do conhecimento químico segundo Johnstone

Fonte: Gibin e Ferreira, 2013

A visualização é central na aprendizagem, especialmente na química, onde os estudantes têm que aprender a transitar dentro e entre estas modalidades da representação (GILBERT, 2005). A integração dos três modos representacionais depende da capacidade de visualização dos estudantes. Na química, a visualização ocorre no nível fenomenológico, através da observação direta dos fenômenos, mas também através de modelos, os quais representam os fenômenos no modo submicroscópico. Os modelos são representações de uma ideia, de um objeto com o intuito de facilitar a compreensão de um fenômeno, possibilitar a construção de explicações e previsões acerca do sistema em estudo (FERREIRA; JUSTI, 2008).

De acordo com Gilbert (2005, p. 11),

[...] modelos podem funcionar como uma ponte entre a teoria científica e o mundo vivenciado (realidade) de duas maneiras. Eles podem agir como descrições simplificadas do real observado, produzido para finalidades específicas, como para as abstrações das teorias. Podem, igualmente, serem idealizações de uma realidade imaginada, baseada nas abstrações da teoria, produzidas de modo que possam ser feitas as comparações com a realidade observável.

A comunidade científica faz uso contínuo dos modelos para fins de explicação de fenômenos ou como subsídio para as teorias. Estes modelos, designados como científicos em razão da comunidade de pessoas que os usam, são aceitos pela mesma e sua elegibilidade é negociada de acordo com a acurácia das informações que os mesmos sustentam. A partir deste aceite, o modelo até então científico passa a ser consensual. Os químicos apresentam uma grande facilidade em usar estes modelos para não só compreender fenômenos, mas também como ferramenta para transitar entre os três modos de representação (JOHNSTONE, 1991 e 2010). Contudo, para os estudantes das ciências, especialmente a química, a compreensão dos modelos e do que representam é um fator que delimita seu conhecimento e sua capacidade de reflexão sobre alguns conceitos. É de fundamental importância familiarizá-los com esta ferramenta de construção conceitual, bem como explicitar suas potencialidades e fragilidades.

Talvez uma das maiores dificuldades na aprendizagem de conceitos químicos seja à natureza descontínua da matéria. Isto requer o uso de modelos para representar um universo teórico submicroscópico, invisível. Estas representações visuais são um sistema simbólico específico, formado por equações químicas, diagramas de estrutura

molecular, gráficos de concentração e modelos computacionais em duas dimensões e em três dimensões (KOZMA; RUSSEL, 1997).

Quando um indivíduo é exposto a um fenômeno, ele inicia seu contato com este sistema através das suas percepções, sejam elas auditivas, olfativas, táteis ou visuais (KOZMA; RUSSEL, 1997) e constrói, por meio destas percepções, seus modelos mentais, suas representações internas do mundo externo. Os modelos mentais apresentam uma estrutura análoga à estrutura do que representam ou do que concebemos. Podem ser dinâmicos, estáticos, apresentar duas, três ou mais dimensões, dependendo somente do indivíduo que o cria (MOREIRA; GRECA; PALMERO, 2002). No entanto, estes mesmos modelos mentais não são necessariamente iguais, tampouco semelhantes ao modelo consensual. Isto se deve ao fato de que os últimos apresentam uma natureza essencialmente abstrata, o que frequentemente se traduz em dificuldades no ensino e aprendizagem dos conceitos químicos.

Em razão desta dificuldade surgem os modelos de ensino, cujo propósito é auxiliar os alunos no entendimento dos modelos consensuais utilizados pelo meio científico.

Justi (1997) afirma que um modelo de ensino é uma situação ou objeto que é utilizado dentro do contexto de ensino para auxiliar os estudantes a “visualizarem” a situação ou objeto em suas mentes. O objetivo de um modelo de ensino é auxiliar os alunos para que construam modelos mentais plausíveis com os modelos consensuais.

Figura 5: Relação entre o modelo científico, consensual, de ensino e mental.

Fonte: da autora

Para tal, um bom modelo de ensino deve ter as principais características do modelo consensual ao qual se refere, deve levar em consideração o conhecimento

prévio dos alunos e as possíveis habilidades que os mesmos possuem para tratar de entidades concretas e abstratas. Muitos modelos de ensino são, portanto, baseados em analogias.

1.2 – A proposição de Analogias

Um artigo de Minné (1929) já retratava a preocupação com a visualização e o entendimento dos conceitos do universo particulado. Ele apresenta o uso de rolhas e tubos de vidro para a construção de modelos físicos para favorecer o entendimento de estruturas moleculares da química orgânica. Abaixo apresentamos uma tradução livre de seu trabalho:

“Alunos da química orgânica elementar frequentemente apresentam problemas na visualização de fórmulas de compostos que são opticamente ativos. Representar sobre uma superfície plana de uma lousa, a configuração espacial de uma molécula cujos átomos de carbono podem ser assimétricos nem sempre é uma tarefa fácil para um professor. Esta dificuldade é frequentemente encontrada no estudo do ácido tartárico. Para mostrar mais claramente o arranjo dos grupos (CO – OH), (OH) e (H), o escritor achou útil fazer uso de uma construção simplificada do modelo do ácido tartárico, de acordo com a fotografia 1.

Ele (modelo) foi feito com rolhas e tubos de vidro, encontrados facilmente em todo laboratório. Foram usadas 7 rolhas para representar os átomos de carbono assimétricos e estes foram equipados com hastes de vidro para indicar as valências. Rolhas de diferentes tamanhos foram usadas para mostrar as diferenças de massas entre os grupos. Ele sugere que um simples deslocamento das rolhas no modelo original do ácido tartárico produzirá um modelo representando o ácido *l*-tartárico ou ácido meso-tartárico.

Também se achou útil usar um modelo construído da mesma forma no estudo de carboidratos. Os quatro átomos de carbono assimétricos da dextrose podem assim ser mostrados facilmente (2). Rodando as rolhas que representam os átomos de carbono assimétricos em torno do eixo central, é possível ilustrar a fórmula de 16 aldo-hexoses isoméricas. O lado contrário do modelo da dextrose representa a molécula de levo-glucose (3). A fórmula para galactose pode ser ilustrada, girando a terceira rolha sobre seu eixo (4). A relação entre dextrose e levulose também pode ser mostrada, basta que as hastes que representam o oxigênio duplamente ligado sejam removidas, e um ceto-hexose pode ser construída.

Outros professores podem achar este artefato de grande valor no ensino de química orgânica."

Está explícito neste trabalho publicado em 1929 que a preocupação com o uso de analogias visuais, aqui tratadas a partir de um modelo físico, já existia permeando o ensino de química, especificamente da química orgânica. Neste caso, o modelo concreto construído com rolhas e tubos de vidro é um modelo de ensino analógico.

O modelo de ensino cumpre a função de mediar o processo de significado dos elementos do modelo conceitual. Para tanto, lança mão de elementos analógicos.

De acordo com Duit (1991), uma analogia é uma comparação baseada em semelhanças entre estruturas de domínios diferentes. No caso do seu uso como modelo de ensino, a analogia deve conter um conteúdo que é familiar ao aluno e um outro que é desconhecido por ele (REIGELUTH, 1983). Ou seja, as analogias ou o raciocínio analógico são ferramentas que vinculam domínios por similaridade e diferenças para os alunos. Já neste contexto esbarramos com uma inerente dificuldade em seu uso: o repertório dos alunos. Segundo Chassot (1995) uma das possíveis dificuldades no uso de analogias que pode comprometer sua eficácia é a diferença sócio cultural entre os

alunos de uma mesma turma, visto que uma certa analogia pode ser muito próxima de um aluno e bastante distante de outro. Para evitar ou trabalhar tal obstáculo é imprescindível que o professor tenha ciência deste possível efeito, buscando utilizar analogias diversificadas e, principalmente, que façam parte do universo do alunado, trazendo esta ferramenta de ensino para uma situação de reconhecimento da analogia por parte dos alunos, através de objetos e/ou situações que pertençam a um conteúdo familiar para o mesmo. O uso de representações familiares favorecerá aos alunos o uso de conhecimentos e informações que o mesmo já possui com o objetivo de conectá-lo ao conteúdo novo, servindo de elo entre as informações que o mesmo já possui e as novas que ele irá tratar.

As analogias ou o raciocínio analógico têm se apresentado como um recurso importante para a transição dos alunos entre o universo observável, macroscópico e o universo das partículas, o submicroscópico visto que a compreensão das propriedades da matéria no modo fenomenológico se baseia no entendimento, na compreensão do comportamento dos átomos, moléculas, etc.

As analogias escolhidas para este fim devem apresentar a capacidade de representar, por exemplo, o volume dos átomos e moléculas, as formas, a geometria molecular, as ligações químicas interatômicas e intermoleculares, o universo da estrutura atômica e molecular.

Um dos desafios para se entender o universo particulado e integrar os três modos representacionais para apreender os conceitos químicos é a escolha de analogias do mundo concreto para a construção destas representações bem como o uso de habilidades visuoespaciais necessárias para que o aluno possa, sensorialmente, captar, entender e interpretar estas analogias.

A construção de modelos de ensino dedicados a facilitar a compreensão de conceitos relacionados ao universo teórico particulado deve reunir uma série de fatores, além dos fatores conceituais. Para tal, o professor deve lançar mão de analogias visuais que sejam compreendidas pelos estudantes.

Assim, sobrepõem-se ao desafio de representar conceitos enunciados de forma matemática, o desafio de fazê-lo por meio de analogias inteligíveis aos estudantes. Em especial, como a estrutura da matéria envolve fatores geométricos a respeito da posição de átomos nas moléculas, a proposição de modelos de ensino baseados em analogias

visuais para este conceito precisa simplificar a interpretação visual geométrica tridimensional.

Como se não bastasse as dificuldades já relatadas, considera-se ainda que o uso de analogias pode favorecer a consolidação de concepções sobre estes conceitos como por exemplo:

- O uso de analogias pode causar problemas quando, ao invés da analogia servir como ponte entre o modelo mental do estudante e o modelo consensual, a analogia substitui o modelo consensual. Um dos exemplos conhecidos desta problemática é o caso do modelo atômico de Thomson, o qual é comparado em inúmeros livros didáticos com um pudim de passas, uma tradução livre da expressão *plum pudding model*. A intenção do uso desta analogia era a partir da imagem da sobremesa inglesa – um tipo de bolo com uvas passas espalhadas em sua massa – tratar das características do modelo, buscando facilitar o entendimento. O que de fato acontece é que os alunos se remetem ao modelo de Thomson como o “modelo pudim de passas”, apresentando muitas vezes dificuldade na transposição das características do modelo atômico para a analogia, assumindo esta a identidade do modelo e não sendo usada como uma ferramenta de entendimento.

No caso de conceitos relacionados à estrutura da matéria, isto é fácil de acontecer. Em primeiro lugar, porque são conceitos formulados a partir de ideias expressas originalmente em linguagem matemática abstrata (exemplo: quântica). Em segundo lugar, porque as analogias usadas têm forte conexão com o universo sensorial, concreto. Então, quando um químico usa uma representação bola e bastão para descrever uma molécula, por exemplo, ele pode aludir ao conceito quântico de ligação química, e neste caso o modelo o ajuda como instrumento. Já ao aluno é só o modelo que existe. O aluno alude às propriedades concretas de um bastão e os transfere para a ligação química. Como consequência é comum a ideia entre estudantes de que a ligação química é um elemento material presente entre átomos. Isto é reforçado por representações visuais inapropriadas, as quais atribuem aspecto concreto aos modelos. O artigo de Ben-Zvi *et al* (1986) trata exatamente de um exemplo a respeito desta problemática.

Tabela 1 – Interpretação de Especialistas e de Alunos da representação visual da estrutura molecular da água.

Conceito para o Especialista	Analogia Visual	Conceito para o Aluno
<p>Bola: representação visual das regiões de densidade eletrônica dos átomos.</p> <p>Bastão: representação das forças de interação eletrônica entre os átomos.</p>		<p>Bola: representa uma bola, um objeto concreto, possível de ser identificado pelos sentidos.</p> <p>Bastão: representa um bastão, um objeto concreto, possível de ser identificado pelos sentidos.</p>

Neste exemplo, o aluno pensa a ligação química entre átomos como entidade física, transferindo características do universo observável, concreto para o universo particulado. Para alguns alunos, o universo das partículas tem as mesmas características que o universo macroscópico, só que em menor tamanho (FERNANDEZ; MARCONDES, 2006).

Então, o problema com as analogias visuais para a representação da estrutura molecular é, numa primeira etapa, visuoespacial e, numa segunda etapa, interpretativo.

A extração de informações referentes à natureza tridimensional também se faz presente nos modelos moleculares físicos. Explorando questões sensoriais ligadas à manipulação destes objetos, é possível interpretar melhor a representação, facilitando o processo de transposição bidimensional ao usar estes modelos. Estudos têm indicado bons resultados de aprendizagem quando da utilização de objetos moleculares concretos como forma de visualização do modelo de partículas e das transformações químicas associadas (COPOLLO; HOUNSHELL, 1995; GABEL; SHERWOOD, 1980; TALLEY, 1973 *apud* GÓIS; GIORDAN, 2005). Esse perfil de visualização tem sido indicado como um dos mais aplicados atualmente, pois simplifica, ilustra e propicia a exploração da estrutura e do fenômeno químico associado. Porém, esses objetos são rígidos e geralmente em quantidade limitada, o que restringe seu uso à representação de moléculas pequenas (BARNEA; DORI, 1999 *apud* GÓIS; GIORDAN, 2005).

Estas limitações dos modelos moleculares físicos começam a ser minimizadas com o advento dos computadores e a inserção de representações moleculares computacionais.

1.3 – Representações Computacionais

Os computadores causaram um aumento considerável do uso de representações moleculares virtuais, em um primeiro momento na área de pesquisa, sendo depois integrados no ensino. Logo, sua inserção em situações de ensino demorou a acontecer. No entanto, as ideias em torno das representações moleculares datam de muitos séculos atrás.

De acordo com Szabo (2004), o poeta Lucrécio cerca de 100 anos antes de Cristo já esboçou uma ideia de modelos de moléculas quando ele disse que “o cheiro é transferido por partículas de diferentes formas, que se encaixam em buracos de mesma forma como se estivessem depositadas sobre a pele do órgão do olfato.”. A partir de 1800, Dalton foi o primeiro a pensar os átomos como partículas reais, esferas de tamanhos e pesos distintos. Jacobus Hendricus Van't Hoff, em 1874, apresentou três dimensões em modelos moleculares. O artigo de Pouleur em 1932 trata sobre a preocupação com o entendimento dos conceitos químicos a partir da visualização, apontando que suportes visuais no ensino podem auxiliar a superar dificuldades com as teorias envolvendo as estruturas moleculares e as ligações químicas bem como fornecer ao aluno ferramentas valiosas para o aumento da familiaridade com os fenômenos químicos. Neste momento, as representações moleculares são tratadas a partir de modelos físicos. Em 1948, Campbell publica um artigo onde descreve o uso de modelos físicos para representar estruturas moleculares e cristalinas. Há preocupação inclusive em diferenciar os átomos de elementos químicos distintos por cores diferentes, de acordo com sua família na tabela periódica, já que “os raios de Van der Waals não são conhecidos com precisão, mas os tamanhos relativos são adequadamente representados na tabulação apresentada.”. No mesmo artigo o autor ainda registra que

“toda representação é inadequada a partir de alguns pontos, embora suficiente de outros. Como os átomos não são duros, esferas sólidas, mas são espaços cheios de campos elétricos é razoavelmente seguro dizer que nenhum modelo será suficiente para reproduzir todas as características de comportamento atômico e molecular.”(CAMPBELL, 1948, p. 200).

Apesar de constatar as limitações que o modelo físico apresenta, o autor afirma que um “modelo que permita a interpretação da maioria das propriedades físicas e químicas de uma substância em função de sua geometria já é suficiente.”. Neste momento da história, os computadores ainda não se faziam presentes em salas de aula de forma a serem usados como suporte para a visualização de representações moleculares no ensino. A dificuldade em compreender o universo particulado já era identificada e o principal auxílio aos alunos era a elaboração de modelos físicos.

A inserção do computador em situações de ensino começa a acontecer a partir de 1970 quando surgem os microcomputadores, porém, é a partir da década de 1980, com a chegada dos computadores pessoais, que as pesquisas e desenvolvimentos de programas aplicados ao ensino de química ganham força. Ocorre a fusão da tecnologia audiovisual com a informática e imagens que até então eram restritas aos livros, passam a ser geradas pelos computadores com a vantagem de serem, muitas vezes, animadas. Na década de 1990 já é possível a visualização de representações de estruturas moleculares (VALVERDE; VIZA, 2006).

Os visualizadores moleculares computacionais trazem algumas vantagens quando comparados aos modelos concretos. Além da manipulação do modelo virtual molecular, a quantidade e a complexidade de estruturas que se pode representar é substancialmente maior que o universo dos modelos concretos, com a possibilidade de ter outros tipos de informações que não eram possíveis antes como, por exemplo, a representação do potencial eletrostático da molécula, dos orbitais moleculares, mudando a forma como os químicos leem estas informações e, principalmente, como podem ser ensinadas já que o aluno exposto a esta informação terá um suporte visual interativo que propiciará condições mais adequadas para um melhor aprendizado conceitual, diferentemente de alguns anos atrás onde o único recurso possível para a compreensão destes conceitos era a elaboração de modelos mentais por parte do aluno a partir de representações visuais em lousa e/ou papel.

Além da capacidade de emulação tridimensional que o computador apresenta em relação ao papel, sua inserção na construção do conhecimento químico vai além dos novos recursos analógicos. Ele oferece a possibilidade da interatividade, característica esta presente nos modelos concretos, mas não nos modelos impressos.

Portanto, percebemos a relevância da interpretação de informações tridimensionais e para tal ação se tornam fundamentais as habilidades visuoespaciais

e, especificamente, as de rotação mental e percepção espacial. Na química há poucos estudos sobre esta interpretação tridimensional do universo particulado, especificamente de interpretação de moléculas (RAUPP *et al*, 2010; PAVLINIC. *et al*, 2007). Segundo Pavlinic (2007) “É bem documentado que a compreensão e o desempenho em química, e em particular, estereoquímica, são fortemente relacionadas com a visualização 3D”. No entanto, embora a importância da tridimensionalidade seja inerente ao conhecimento estereoquímico, não se restringe a este campo conceitual. Estudos mostraram que a construção de conceitos, não só estereoquímicos, está estreitamente relacionada ao formato visual com que os estudantes tiveram contato durante seu aprendizado (CLARK; PAIVIO, 1991; PAIVIO, 1986 *apud* GÓIS; GIORDAN, 2005). É neste sentido que alguns autores têm defendido a integração entre visualizadores computacionais e representação tridimensional como uma forma efetiva de aprimorar a habilidade de visualização no ensino de ciências (KISER, 1990; RODRIGUEZ, 1990; WILEY, 1990; BEZZI, 1991; BARNEA; DORI, 1996 *apud* GÓIS; GIORDAN, 2005), visto que a aprendizagem de conceitos em química demanda habilidades visuoespaciais que sustentam a realização de algumas ações cognitivas espaciais.

A habilidade necessária para promover a transformação entre representações 2D e 3D, por exemplo, é chamada de habilidade visuoespacial – derivada do conceito visualização espacial. Wu e Shah (2004) afirmam que a experiência com a manipulação de modelos, bem como o uso de ferramentas de construção de modelos parecem ser cruciais no desenvolvimento das habilidades visuoespaciais e esse desenvolvimento ocorrendo, conseqüentemente auxilia os alunos na resolução de problemas químicos e de representação de conceitos no modo submicroscópico e simbólico, favorecendo, principalmente, os alunos com habilidades visuoespaciais pouco desenvolvidas, pois estes terão o suporte material para a elaboração de seu modelo mental sobre o conceito, reduzindo a sobrecarga cognitiva desta ação e favorecendo a compreensão conceitual.

1.4 – Implicações das representações visuais analógicas da estrutura molecular

Além das potencialidades que as representações visuais analógicas apresentam e as quais já foram tratadas anteriormente nesta introdução, bem como alguns problemas que perpassam seu uso, há duas situações que permeiam sua utilização:

- 1) A decodificação e interpretação da analogia – estas duas ações estão intimamente ligadas à cognição, às habilidades visuoespaciais e às interações

que o indivíduo tem com o suporte material da analogia, seja ele papel (representações analógicas impressas) ou tela do computador (representações analógicas virtuais estáticas bidimensionais ou dinâmicas tridimensionais).

- 2) Atribuir significados – relacionar características percebidas por meio da decodificação com os conceitos que se deseja conectar pela mediação. Esta atribuição se dá, principalmente pela bagagem conceitual que o indivíduo apresenta.

Ambas situações se dão em paralelo, concomitantemente. A qualidade desta relação dependerá de todos os fatores inerentes a cada uma delas.

As características que o objeto analógico possui são de grande importância ao seu papel de modelo de ensino, como as semelhanças com o domínio alvo, fazer parte do repertório dos alunos, etc...Dentre todas elas, para as representações computacionais interativas de modelos moleculares, nos interessa, em especial, a interatividade.

De acordo com Farias *et al* (2015)

“É pelo uso dessas operações (cognitivas espaciais) que nos tornamos aptos a construir modelos mentais das estruturas moleculares, manipulá-los e expressá-los. Nesse aspecto, os alunos apresentam grandes dificuldades tanto na correlação das representações estruturais moleculares bidimensionais com as representações pseudotridimensionais, quanto em sua manipulação, o que é fundamental, por exemplo, para o reconhecimento de isômeros espaciais.”

Não só no reconhecimento de isômeros espaciais. O trabalho de Wu *et al* (2000) corrobora com a importância do uso das representações visuais computacionais interativas pois afirma a relevância das mesmas e de outras ferramentas interativas para o desenvolvimento nos estudantes das habilidades visuoespaciais, como ponto fundamental para a compreensão de diversos conceitos químicos.

Capítulo 2 - Referencial Teórico

2.1 – Visualização e Modelos Mentais

Nas ciências da natureza, a visualização desempenha um papel de grande relevância no processo de construção do conhecimento científico e no ensino-aprendizagem do mesmo. Isto se deve ao fato de que, especialmente em química, espera-se que os alunos desenvolvam uma maior fluidez no trânsito entre os três modos representacionais do conhecimento químico e a visualização está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento desta capacidade. Esta visualização pode ocorrer de forma mais direta, através da observação dos fenômenos, mas também através de modelos, representativos do universo das partículas, trabalhando, desta forma, tanto o modo macroscópico quanto o submicroscópico.

Para Gilbert (2005), a visualização está vinculada com uma representação interna (um modelo mental) que busca retratar a essência de uma representação externa, podendo ser a observação do próprio fenômeno ou o uso de modelos físicos, por exemplo. Desta forma, espera-se uma melhor compreensão do fenômeno, bem como prever comportamentos. Enquanto para os químicos, esta transição entre modos representacionais é algo esperado que se tenha domínio (JOHNSTONE, 1991, 2010), aos alunos é necessário que se proponha meios que os auxiliem neste desenvolvimento visto que a pouca compreensão destes modos, bem como a dificuldade na transição e o uso de modelos mentais frágeis, podem acarretar um entendimento superficial ou até mesmo equivocado de conceitos.

Desta forma, ao introduzir conceitos químicos em sala de aula, passamos a transmitir aos alunos um sistema representacional singular que irá mediar seu aprendizado. Para que esta comunicação se efetive, é necessário que o professor use de estratégias diversificadas para verificar como está ocorrendo esta comunicação, pois a visualização destes modelos, por si só, não garante que o aluno apreenda seu significado. É preciso instrumentar o aluno nesta leitura imagética, dar a ele subsídios para entender, compreender, “ler” esta nova linguagem e dar a ele a oportunidade de expor seu entendimento, sua interpretação dos modelos, para que o professor possa atuar durante a sua construção.

A construção de um modelo mental se inicia pela observação que cada indivíduo é capaz de fazer de um sistema, um fenômeno. E aqui, ao falarmos de observação,

tratamos de todos os sentidos que podem atuar como portais de entrada para informações, sejam elas visuais, auditivas, táteis e olfativas. Este conjunto de informações é decodificado pelo indivíduo e conduzem à elaboração de uma representação interna, individual e única para cada um. Esta representação é um modelo mental, que pode ser construído em uma ação solitária ou a partir de uma vivência partilhada em grupo, mas sempre será privada e individual (GILBERT, 2005).

Os modelos mentais podem apresentar características de mobilidade, sendo “...uma representação interna de informações que corresponde analogamente com aquilo que está sendo representado.” (MOREIRA, 1996). Apresentam características totalmente ou parcialmente análogas ao que representam e podem ser combinados e recombinaados conforme a necessidade. É através deles que o indivíduo interage com o mundo, tenta compreendê-lo e fazer previsões sobre o mesmo. Esta construção de modelos se dá no contato que o indivíduo tem com o mundo e, na sala de aula, ela ocorre através da fala do professor, do seu gestual e da visualização de imagens, as quais estão presentes nos livros, nos filmes, nas animações, nas simulações, etc... As imagens usadas por professores, assim como por cientistas, podem ser classificadas como “modelos conceituais” pois são

[...] aqueles desenhados por cientistas, engenheiros e professores para facilitar a compreensão e o ensino de sistemas físicos, o estado de coisas físicas ou fenômenos naturais. (MOREIRA; GRECA; PALMERO, 2002)

Estes são representações externas aceitas pela comunidade a que se referem e fiéis ao conhecimento científico que sustentam. Já os modelos mentais possuem a mesma funcionalidade que os modelos conceituais, mas não necessariamente o mesmo aspecto já que os mesmos são criados por indivíduos de forma pessoal. Podem ser aperfeiçoados em sua funcionalidade, dependendo, por exemplo, do conhecimento do indivíduo.

Os modelos mentais criados por especialistas são parcialmente consistentes, de conceitos e fenômenos químicos, permitindo o reconhecimento de conceitos apropriados a serem aplicados a novas situações. Já os estudantes principiantes possuem modelos mentais incompletos e incompatíveis com os conceitos científicos, pois representam problemas devido às suas características superficiais, ao conhecimento muitas vezes fragmentado e desconectado que o indivíduo possui. Enquanto o especialista trabalha com modelos mentais subsidiados por conhecimento

prévio consistente, os principiantes trabalham com os modelos mentais vendo somente os objetos e eventos visíveis (KOZMA; RUSSEL, 1997).

Um estudo feito por Galagóvsky, Giacomo e Castelo (2009), mostra, através de entrevistas e de desenhos, como especialistas usam modelos mentais distintos para explicar fenômenos sobre as ligações intermoleculares e quais as consequências didáticas do uso de um sistema gráfico não consensual e, por muitas vezes, incompleto. Neste mesmo trabalho, faz-se a conceituação de modelo conceitual e modelo explícito, onde o modelo conceitual tanto pode ser o modelo mental quanto o modelo explícito, já que este último se traduz em um conjunto de informações sobre o modelo mental em linguagens distintas. Aqui percebemos uma distinção entre a definição de modelo trabalhada por Galagóvsky (2009) e por Justi e Ferreira (2008), pois para estas últimas os modelos são representações de uma ideia, de um objeto com o intuito de facilitar a compreensão de um fenômeno, possibilitar a construção de explicações e previsões acerca do sistema em estudo enquanto para Galagóvsky trata o modelo como um conjunto gráfico que se expressa por diversas linguagens (palavras, signos, códigos e formatos sintáticos) com um significado, aceito ou não, em cada linguagem, sendo que para um evento ser modelado, se faz necessário o uso de várias linguagens, e não de uma só, já que o grau de complexidade dos eventos na ciência não seriam completamente trabalhados por um único meio de expressão; este, isoladamente, não seria suficiente. Neste trabalho adotaremos, para análise dos resultados, a definição trabalhada por Justi.

Sendo os modelos mentais as ferramentas que os indivíduos usam na construção do conhecimento, se torna relevante o uso de recursos de visualização destas representações, favorecendo os alunos a pensarem sobre o conceito assim como, elaborarem e/ou aprimorarem seus modelos mentais.

2.2 – Habilidades Visuoespaciais

A capacidade de transitar entre os modos de representação na Química pode estar intimamente relacionada com as habilidades visuoespaciais. Esta conjectura é possível quando analisamos, por exemplo, o trabalho de Wu e Shah (2004) onde usando diversos estudos, estes autores buscam estabelecer relação entre esta habilidade e o uso de diferentes representações, concluindo que as habilidades visuoespaciais são relevantes para a aprendizagem química, que alguns dos erros conceituais dos estudantes em química se devem às dificuldades em operar representações visuoespaciais internas e externas e que algumas ferramentas de visualização têm apresentado potencialidades para auxiliar os alunos a superar alguns erros conceituais que podem surgir a partir de dificuldades no uso de representações visuais. Segundo Choi (2001 *apud* SEABRA; SANTOS, 2004), a habilidade espacial compreende a visualização espacial, a rotação mental e a percepção espacial, onde “a visualização espacial consiste na manipulação de problemas visuais complexos imaginando os movimentos relativos das partes internas de uma imagem”, a rotação mental é a habilidade de manipular, rotacionar, torcer ou inverter objetos tridimensionais e a percepção visual é a “habilidade de determinar relacionamentos espaciais a partir de informações visuais”. De acordo com Raupp *et al* (2009), “essas três categorias envolvem o pensar em imagens, bem como a capacidade de perceber, transformar e recriar diferentes aspectos do mundo visual e espacial.”

A importância desta habilidade nos domínios das ciências, engenharias, tecnologia, artes e matemática, em inglês *Science, Technology, Engineer, Arts and Mathematics* (STEAM), é reconhecida, mas todo o conhecimento já obtido ainda não está operacionalizado de forma a contribuir em processos educacionais. Esta é a posição de Wai, Lubinski e Benbow (2009) no artigo publicado pelos mesmos onde buscam compilar os conhecimentos psicológicos acumulados dos últimos 50 anos. Eles destacam, logo no começo do referido artigo, a “negligência contemporânea a não utilização deste conhecimento” principalmente nas instruções e configurações do currículo educacional. Enfatizam não só a relevância dos mesmos na seleção de jovens talentos, mas, principalmente, que a avaliação da capacidade espacial pode beneficiar a uma grande parcela dos estudantes regulares. Eles afirmam que estudantes em qualquer intervalo de desenvolvimento desta habilidade poderiam se beneficiar da avaliação da habilidade espacial, bem como da criação de oportunidades educacionais que viabilizassem o desenvolvimento da mesma.

Porém o que percebemos é que as instituições escolares, em geral, estimulam estas habilidades espaciais nas crianças em sua fase inicial de escolarização, mas, com o passar dos anos, estas mesmas instituições vão deixando de valorizar o desenvolvimento destas habilidades mesmo como forma de comunicação em razão de uma intensificação de outras aptidões escolarmente mais valorizadas, como a linguística e a lógico-matemática. Consequentemente, áreas do conhecimento que apresentam conceitos abstratos e necessitam desta aptidão espacial para um melhor entendimento, acabam sendo vistas como áreas mais difíceis, "duras" de serem estudadas. A Química é uma das áreas que se encaixam nesta situação. Este trabalho vem ao encontro destas questões, desenvolvendo uma metodologia de análise da habilidade visuoespacial. É possível que este estudo contribua com informações que possam ser usadas para favorecer o processo de ensino-aprendizagem de estudantes, através do entendimento destas habilidades e da busca por mecanismos que favoreçam o desenvolvimento das mesmas.

Segundo Harle e Towns (2011), a habilidade espacial, como área de pesquisa da Inteligência, vem sendo investigada desde os anos de 1800. Sir Frances Galton foi um dos primeiros a afirmar que as imagens mentais " são os diferentes graus de nitidez com que pessoas diferentes têm a faculdade de recordar cenas familiares sob a forma de imagens mentais, ... ". A partir de 1920, um fator identificado como fator espacial foi isolado a partir da inteligência geral e vários pesquisadores se dedicaram a identificação do mesmo. Nos anos de 1930 até os de 1970, estudiosos se dedicaram em definir fatores maiores e menores na habilidade espacial e uma infinidade de fatores até para a definição da terminologia das habilidades espaciais. Até os dias atuais, muitos debates ainda acontecem envolvendo quais os fatores das habilidades espaciais, se eles são dependentes, se são mensuráveis e até qual a taxonomia coerente.

Baddeley (2012) trata que as habilidades visuoespaciais envolvem a ativação, retenção e/ou manipulação de representações mentais e, portanto, estão estreitamente relacionadas com a memória operacional, o sistema cognitivo que retém temporariamente a informação e pelo processamento da informação durante a realização de atividades cognitivas de maior grau de complexidade. Já McGrew (2009 *apud* GOMES; BORGES, 2009) cita que esta habilidade é estimada por atividades que envolvem a percepção e transformação de figuras, formas e imagens visuais assim como por tarefas que envolvem manter a orientação espacial relativa a objetos que se movem no espaço. Esta visão é corroborada por Cornoldi e Vechi (2003) que defendem uma abordagem das habilidades visuoespaciais segundo um modelo que permite

mapear os recursos cognitivos envolvidos segundo níveis de representação mental (visual, espacial ou ambos), níveis de atenção, bem como níveis de armazenamento na memória de curta duração.

Em função das discussões e das pluralidades em definir os fatores que compõem a habilidade espacial, há fatores comuns a serem considerados: a visualização e a relação espacial foram identificadas tanto por Lohman (1979) quanto por Carroll (1993). O fator relação espacial é formado por tarefas que envolvem a rotação mental de um objeto no plano (2D) ou fora do plano (3D). A visualização espacial é um fator formado por tarefas que tem um componente espacial como o movimento ou deslocamento de partes da figura. No entanto, Lohman (1979) indica também a orientação espacial, sendo este fator a capacidade de imaginar como um objeto seria de uma perspectiva diferente a partir da reorientação do observador. Carroll (1993) identifica outros três, além da visualização e da relação espacial. São eles: velocidade de fechamento ("closure speed") que é a habilidade de identificar um objeto parcialmente escurecido ou com pouca definição sem reconhecer o objeto; flexibilidade de fechamento ("flexibility of closure"), envolve a habilidade de desmembrar uma parte específica ou uma figura ou figuras (ou padrões) dentro de outra maior, mais complexa e a velocidade percentual, que é a velocidade em encontrar um item específico em um grupo de itens idênticos, um padrão visual específico em um campo visual ou comparar com precisão um ou mais padrões quando os itens ou padrões não são escurecidos. (*apud* HARLE & TOWNS, 2011).

Neste contexto, delimitamos o significado do termo interatividade em nossa pesquisa tal como o fizeram Araujo e Veit (2008) referindo-se "*às possibilidades de interação do aprendiz, centro do processo educativo, com recursos computacionais, ferramentas auxiliares desse processo.*". Portanto, segundo os autores nesta etapa do texto é razoável supor que há uma relação direta entre os recursos educacionais e a interatividade para que aliviem as possíveis demandas cognitivas, favorecendo qualquer processo de ensino e aprendizagem. Assim como Cornoldi e Vechi (2003) e McGrew (2009) citam que é possível estimar a habilidade visuoespacial por meio de atividades que envolvam a percepção e transformação de figuras, será que o mesmo é válido para objetos tridimensionais no computador? Nossa hipótese é que a interatividade é um fator fundamental para prover suporte cognitivo em tarefas envolvendo habilidades visuoespaciais como no caso de representações computacionais interativas de modelos tridimensionais da estrutura molecular e sua ação se dá pela diminuição da demanda cognitiva em três dos fatores apontados como componentes da habilidade espacial: a

relação espacial -especificamente a rotação mental -, a orientação espacial e a flexibilidade restrita.

2.3 - Teoria da Carga Cognitiva

Esta teoria foi fundamentada, inicialmente, por John Sweller e seu desenvolvimento vem ocorrendo com a contribuição de outros pesquisadores (AYRES; GOG, 2009). Ela se baseia no sistema de memória humano e, especialmente, nas relações entre a “memória de trabalho” (working memory) ou de curta duração e a “memória de longa duração” (long-term memory). A memória de trabalho é onde ocorre o processamento de novas informações e sua capacidade, tanto de processamento como de armazenamento, são limitados. Portanto, está muito vulnerável a uma sobrecarga cognitiva, que ocorre se a quantidade e a complexidade da informação excederem a sua capacidade de funcionamento. Quando esta sobrecarga ocorre, a compreensão e a aprendizagem são afetadas negativamente (HASLAM; HAMILTON, 2009; LEUTNER *et al*, 2009). Já a memória de longa duração aparenta ter uma capacidade ilimitada para armazenar informações. Todas as informações que não são usadas continuamente, mas são necessárias para a compreensão de algo, ficam na memória de longa duração. Nela se constroem os esquemas, estruturas de conhecimento hierarquicamente organizadas ao redor de conceitos centrais, agindo como elementos únicos na memória de trabalho. Estes esquemas são de extrema importância para a compreensão de novas informações. No entanto, as limitações de capacidade e de duração da memória de trabalho são o funil para a construção destes esquemas, pois é onde os elementos da informação precisam ser organizados, processados, combinados, etc, antes de se tornarem consolidados na memória de longa duração (AYRES; GOG, 2009). Estas limitações tornam-se significativas quando envolvem tarefas complexas, com muitos elementos de informações interagindo (HASLAM; HAMILTON, 2009, MILLER, 1956, KIRSCHNER, 2002). Ao mesmo tempo, estes esquemas são capazes de diminuir a carga cognitiva na memória de trabalho, pois pode ser qualquer coisa que foi aprendida e tratada como uma entidade única. Se a aprendizagem ocorreu por um longo período, o esquema pode incorporar uma enorme quantidade de informações. Em resumo, a construção do esquema ajuda no armazenamento e na organização da informação na memória de longo prazo e reduz a carga da memória de trabalho (KIRSCHNER, 2002, AYRES; GOG, 2009, SWELLER *et al*, 1998).

A carga cognitiva imposta ao funcionamento da memória é formada por três categorias: a *carga cognitiva intrínseca*, a *carga cognitiva natural ou relevante* e a *externa ou irrelevante*. A intrínseca é imposta pela complexidade do conteúdo do material de ensino e pelo nível de interatividade entre os elementos, para minimizá-la, pode-se segmentar o conteúdo e disponibilizá-lo em uma sequência, onde os elementos tem baixa ou nenhuma interatividade entre si. A natural ou relevante é imposta pelas atividades de ensino que beneficiam a aprendizagem devido à construção de esquemas e a transferência de informações dentro da memória de longo prazo. A externa ou irrelevante é imposta pela apresentação do material, não interfere na construção de esquemas e, conseqüentemente, desperdiça recursos mentais limitados que poderiam ser usados para auxiliar a carga natural (SANTOS; TAROUÇO, 2007, SWELLER *et al*, 1998).

As tarefas que requerem visualização associam-se a uma demanda cognitiva. Isso se deve à abstração, ou seja, a necessidade de criar modelos mentais e representações internas sem apoio de objetos ou meios externos que sirvam como apoio para a troca de informações com a memória de curta duração.

Capítulo 3 – Problema e Objetivos

3.1 – Questão de Pesquisa

A nossa pergunta de pesquisa parte de alguns pressupostos, a maioria já tratados anteriormente e reagrupados abaixo de modo mais sucinto:

1. O uso de representações visuais é fundamental para a compreensão de conceitos relacionados à estrutura molecular. Tais representações são usadas tanto por cientistas quanto entre professores e alunos;
2. As representações visuais de estruturas tridimensionais computacionais são baseadas em analogias do plano conceitual;
3. As representações visuais da estrutura tridimensional de moléculas representam um duplo desafio:
 - 3.1. O desafio de compreensão e decodificação de tais representações;
 - 3.2. O desafio de atribuição de significados às analogias;
4. Tanto a decodificação de modelos tridimensionais quanto a sua interpretação envolve habilidades visuoespaciais. Dentre elas a, a habilidade cognitiva de rotação mental;
5. Modelos interativos parecem contribuir mais para o aprendizado do que os estáticos;
6. Metodologias de pesquisa existentes parecem não responder ou caracterizar bem esta constatação da interação. Segundo levantamento recente sobre a pesquisa no campo da visualização no ensino de química, as metodologias de pesquisa sobre o tema envolvem diversas abordagens já consagradas nos estudos da área de ensino de ciências como o uso de questionários, observação, registro em áudio e vídeo, entrevistas etc. Tais metodologias são utilizadas seja em estudos dedicados ao modo como estudantes utilizam recursos didáticos individualmente, seja naqueles dedicados ao papel de tais recursos como mediadores simbólicos das interações dialógicas entre os sujeitos. (TERUYA; MARSON, 2013; TERUYA *et al.*, 2014).

Embora tenham propiciado significativo avanço no estudo do papel da visualização no ensino de química, tais metodologias apresentam algumas limitações, sobretudo no tocante a análise de dados gerados por estudos envolvendo mais de 20 estudantes. Nestes casos, é necessário optar ou por uma abordagem de pesquisa generalista, baseada em dados que possam ser analisados pela ocorrência de categorias, ou por metodologias com enfoque na caracterização detalhada de poucos casos.

Esta pesquisa foi motivada pela possibilidade de desenvolver uma metodologia que propiciasse contemplar as duas abordagens, isto é, preservar informações sobre o processo individual de apropriação de representações visuais presentes em recursos didáticos, e, simultaneamente, permitir a aquisição de informações com grandes grupos de indivíduos.

A partir da coletânea de informações da literatura realizada até aqui, temos as seguintes inquietações:

Qual o papel da interatividade no uso de ferramentas de visualização da estrutura molecular? É possível caracterizar o processo de interação de graduandos e não-graduandos com o uso de representações visuais computacionais de estruturas moleculares tridimensionais?

3.2 – Objetivos

O desenvolvimento de uma metodologia para análise da interpretação de representações computacionais tridimensionais interativas de moléculas interativas (analogias interativas) em química, buscando compreender como a interatividade relaciona-se com as diferenças da habilidade visuoespacial de rotação. A partir deste objetivo, iremos realizar o tratamento dos dados, tanto de forma qualitativa quanto quantitativa. E, conseqüentemente, a atribuição de significados aos dados coletados visto ser um método novo.

3.3 – Hipótese do trabalho

Acreditamos ser possível caracterizar a forma como os alunos graduandos e não graduandos interagem com representações externas em química por meio da interpretação do registro de sua interação em um visualizador molecular computacional.

A transição entre as representações externas simbólicas (modelos computacionais, analogias) e internas (modelo mental) pode ser favorecida por materiais instrucionais interativos pois, a partir da interação com este material e com o modelo mental, uma sequência de eventos, favorecidos pela habilidade visuoespacial, e conceitos podem começar a se inter-relacionar, contribuindo para que o indivíduo consiga dar significado à aquela imagem, muito antes de o mesmo conseguir verbalizar estas informações.

Buscamos a caracterização desta interação a partir de análises qualitativas e quantitativas da interação, relacionando parâmetros numéricos obtidos com o registro da interação dos indivíduos com o visualizador computacional de moléculas tridimensionais.

Capítulo 4 - Desenvolvimento da ferramenta de obtenção de dados

4.1 - Metodologia da Pesquisa

Tendo como objetivo de pesquisa o desenvolvimento de uma metodologia¹ para análise da interpretação de representações computacionais tridimensionais interativas de moléculas em química e buscando compreender como a interatividade relaciona-se com as diferenças da habilidade visuoespacial de rotação, há alguns elementos distintos que iremos considerar:

1) O registro das interações com estruturas moleculares tridimensionais. Para obtermos este registro fizemos uso de um instrumento baseado no visualizador de moléculas JSMol, construído nas linguagens HTML e Javascript. O visualizador foi escolhido por ser compatível com diversas plataformas e dispensar o uso de plug-ins específicos. Esta ferramenta gera duas representações tridimensionais de uma mesma molécula em diferentes orientações: uma delas imóvel e a outra é interativa. Ambas são apresentadas ao indivíduo como um problema no qual deve-se explorar a estrutura interativa de maneira a se obter a mesma imagem, ou a mais próxima possível da imagem modelo. Durante a interação, a cada meio segundo o instrumento registra parâmetros relacionados à orientação do modelo molecular. Assim, os parâmetros de todas as interações feitas podem ser analisadas posteriormente com apreciável detalhe, e ainda possibilitam obter um *replay* das interações feitas pelo voluntário. Os dados de orientação adquiridos são parâmetros baseados no teorema de Euler: Quando uma esfera é movida em torno do seu centro (rotação), sempre é possível encontrar um diâmetro cuja direção na posição deslocada é a mesma da direção inicial². Qualquer orientação pode ser alcançada a partir de um ângulo de rotação e um eixo de rotação, resultante de três coordenadas correspondentes aos eixos x, y e z.

¹ Agradecimentos ao Gustavo Novaes da Cruz, na elaboração do teste de moléculas e proposição do teste de Ishihara, à Dra. Camila Cicuto na elaboração dos questionários de perfil e de usabilidade e ao Rodrigo Consoli pelo desenvolvimento do visualizador molecular, além das contribuições de todos nas discussões acerca desta pesquisa.

² ANGELES, Jorge. Rational Kinematics, Springer Tracts in Natural Philosophy, Vol. 34, Springer-Verlag, New York, 1988, Chaps. 1–3

Figura 6 – Representação dos eixos das coordenadas x, y e z.

Fonte: do orientador

O parâmetro “geral” então é calculado como a raiz da soma dos quadrados da diferença entre as coordenadas de x, y e z respectivas à molécula fixada e a interativa.

$$Diff = \sqrt{(x - x_{fixo})^2 + (y - y_{fixo})^2 + (z - z_{fixo})^2}$$

No decorrer do teste, são adquiridos os dados de tempo gasto e de orientação (três coordenadas do vetor de rotação que vão de 1 a 1000). Conhecendo-se a orientação inicial das moléculas fixa e interativa, é possível, a cada interação, calcular a diferença de orientação (*Diff*) e expressá-la em termos modulares. Em função do valor obtido da diferença de orientação foi estabelecida a precisão, ou seja, quanto mais baixo o valor da diferença de orientação, mais precisa a posição da representação molecular interativa.

2) A proposição de um problema interativo de rotação como contexto de registro, ou seja, proposição de uma tarefa pontual, circunscrita. Como comentado no item anterior, a obtenção dos dados das três coordenadas correspondentes aos eixos x, y e z foi realizada a partir de duas representações tridimensionais de uma mesma molécula em diferentes orientações: uma delas imóvel e a outra, interativa. Ambas são apresentadas ao indivíduo como um problema no qual deve-se explorar a estrutura interativa de maneira a se obter a mesma imagem, ou a mais próxima possível da imagem estática.

Cada indivíduo interagiu com quatro representações neste programa: a primeira identificada como "0" era uma molécula estruturalmente simples de 1 – cloroetanol para ambientação e treinamento com o programa, propiciando uma familiarização com a ferramenta sem qualquer controle do tempo que o indivíduo use nesta primeira vivência. A segunda era uma molécula identificada como "intro", era a fórmula estrutural da caprolactama, representada com diferenciação de cores para os átomos de elementos químicos distintos; a terceira, identificada como "teste 1" era a fórmula estrutural da

batracotoxina, também representada com diferenciação de cores para os átomos de elementos químicos distintos e a quarta representação, identificada como "teste 2" também era a batracotoxina, com todos os átomos representados em coloração cinza. Este momento da metodologia envolve tanto o fator de rotação mental, quanto a orientação espacial e a flexibilidade restrita, sendo todos os fatores suportados por um meio externo, o visualizador computacional de estruturas moleculares tridimensionais. Além disso, há o registro da transformação da representação molecular tridimensional na forma de um gráfico, o qual designamos como Resolugrama. Este gráfico traz em sua curva cada etapa do processo de interação do indivíduo com o visualizador, a partir da sua interação com a representação molecular tridimensional móvel.

Os resolugramas foram analisados e cada seção de suas curvas foi identificada da seguinte forma:

- O trecho em vermelho mais o trecho em laranja corresponde ao tempo de resolução (tRes), que é o tempo que indica que o posicionamento da molécula está bastante próximo do posicionamento do modelo. Ele foi obtido através da análise do resolugrama que o programa de visualização gerou a partir de cada movimento que o indivíduo realizava com a representação molecular interativa. Consideramos que, quando o gráfico apresentava uma queda abrupta em um curto intervalo de tempo e as oscilações a partir deste ponto eram pequenas e em torno de um valor de precisão abaixo de 200, este seria o tempo de resolução do problema e todo o restante a partir deste ponto foi considerado um ajuste fino (tAjust), onde o indivíduo faz pequenos ajustes no modelo interativo buscando refinar o posicionamento da molécula. O valor 200 para a precisão foi estabelecido dentro da própria amostra a partir da análise dos resultados obtidos, visto que comparando os resolugramas de cada participante com os movimentos realizados pelos mesmos com as representações interativas, foi possível identificar, visualmente, que o posicionamento da representação sofria alteração mínima em valores inferiores a 200.

- O tempo total de toda a curva é designado como tempo total (tTotal), que é o tempo total gasto por cada indivíduo para posicionar da maneira mais precisa possível a representação molecular interativa. É o tempo que o programa de visualização coletou quando o indivíduo clicou em "enviar" considerando que o mesmo julgou o teste por terminado.

Gráfico 1: exemplo de um resolugrama do teste da molécula colorida do indivíduo 23.

Em nosso trabalho, tratamos especificamente dos tempos de resolução e o tempo total. Embora os outros parâmetros tenham sido identificados, neste trabalho nosso olhar se voltou à estas três seções de tempo identificadas acima.

Partimos do pressuposto que o tRes deve estar relacionado tanto com a rotação mental quanto com a flexibilidade de fechamento. A rotação mental em razão de ser um fator inerente a todo o processo de interação do indivíduo com a representação molecular para buscar o posicionamento mais próximo da representação molecular estática. A flexibilidade de fechamento em razão de cada movimento com a representação molecular interativa expor e omitir partes da imagem, interferindo no processo de decodificação a partir do reconhecimento de vistas ou parte das vistas destas imagens.

Os tempos foram extraídos das três moléculas do protocolo: molécula de intro, a colorida e a cinza. No entanto, para fins de análise e obtenção dos resultados que iremos apresentar no decorrer deste registro, usamos as informações obtidas a partir da representação molecular colorida e da cinza, visto que são representações do mesmo modelo molecular porém com o posicionamento inicial da imagem distinto, além de não diferenciar átomos por cor, o que consideramos ao iniciar esta investigação ser uma estratégia adequada para verificarmos as possíveis diferenças de comportamento no uso do visualizador, buscando obter dados para analisarmos o comportamento dos sujeitos. A inclusão do teste com representação de estrutura molecular cinza se fez dentro da lógica de termos níveis diferentes de demanda cognitiva, já que, em princípio,

ao usar ou não cores estamos mudando o parâmetro ligado à flexibilidade de fechamento. A molécula intro foi pensada como uma interface de ambientação com a ferramenta, o visualizador molecular interativo que fazia parte do protocolo e, através do qual, os dados para esta pesquisa foram obtidos.

Outro artifício de análise que pudemos usar foi a comparação de imagens de vistas da representação molecular interativa durante o processo de resolução com o perfil de curva obtido durante a interação. Esta comparação favoreceu a interpretação da curva, comparando cada seção com a vista da representação molecular naquele momento do processo.

3) Proposição de uma sequência de tomadas de dados.

Cada teste e questionário dentro deste protocolo tem um objetivo específico, visando nos orientar sobre características individuais que possam contribuir na compreensão dos dados obtidos e, conseqüentemente, as possíveis implicações no uso deste tipo de recurso.

A seguir será feita a indicação de cada um, bem como um descritivo do mesmo, na ordem em que foram aplicados.

- Formulário de exposição prévia e familiaridade

Formulário elaborado na plataforma *Google Forms*, tem como objetivo coletar informações gerais de cada indivíduo que participou da coleta, tais como nome, idade, sexo³, formação acadêmica bem como obter informações se o indivíduo já tinha visto e/ou mexido com modelos tridimensionais estáticos na tela do computador, impressos em livros e apostilas, físicos e interativos no computador. Este formulário foi respondido online. Através dele podemos caracterizar o perfil da nossa amostra, conhecendo a origem acadêmica de cada um, a quanto tempo está no curso em questão e o grau de familiaridade com este tipo de representação, através das seguintes perguntas:

- Com que frequência você já viu modelos tridimensionais estáticos impressos (livros, apostila etc.)?

³ No período da elaboração do formulário de perfil, foi usado este termo para que os participantes se identificassem. As pesquisas e artigos sobre habilidades visuoespaciais encontradas até o momento desta pesquisa ser finalizada, traziam dados referentes ao termo utilizado.

- Com que frequência você já viu modelos tridimensionais estáticos na tela do computador?
- Com que frequência você já viu modelos tridimensionais físicos (plástico, isopor etc.)?
- Com que frequência você já viu modelos tridimensionais interativos no computador?
- Com que frequência você já mexeu em modelos tridimensionais físicos (plástico, isopor etc.)?
- Com que frequência você já mexeu em modelos tridimensionais não interativos⁴?
- Com que frequência você já mexeu em modelos tridimensionais interativos no computador?
- Com que frequência você utiliza modelos tridimensionais para estudar?

Os dados de exposição prévia e familiaridade são o nível de ensino, que pode ser cursinho (C) ou graduação (G) e os valores apresentados para cada item seguinte como “visualização impressos”, “visualização físicos”, etc, se referem a uma escala adotada em nosso questionário de pesquisa do perfil dos indivíduos participantes onde a frequência de contato/uso era indicado numericamente de 0 a 4, onde 0 era nunca e 4 era muitas vezes. Na pergunta “Com que frequência você usa modelos tridimensionais para estudar?” as respostas não eram indicações numéricas, mas sim os termos “raramente”, “duas vezes por ano”, “mensalmente” e “semanalmente”. Para facilitar a tabulação das respostas, fizemos a seguinte relação: “raramente” foi atribuído o valor 0, “duas vezes por ano” foi atribuído o valor 1, “mensalmente” foi atribuído o valor 2 e “semanalmente” o valor 3. A tabela completa com os dados de todos os indivíduos poderá ser encontrada nos anexos.

O objetivo deste levantamento é saber qual o grau de familiaridade dos indivíduos envolvidos nesta pesquisa com a visualização e interação de representações de estruturas moleculares, pois esta familiarização pode causar diferenças nos dados obtidos através do visualizador.

- Testes de cores de Ishihara

Este teste foi elaborado pelo Shinobu Ishihara (ISHIHARA, 1972) com o objetivo de detectar deficiências visuais congênitas, como o Daltonismo. O teste é composto por 24 cartões com a imagem de um círculo colorido em cada um. O conjunto de cores de cada círculo é agrupado de forma a exibir um número ou forma, a qual só será

⁴ Imagens pseudo tridimensionais em tela de computador

visualizada por indivíduos com visão normal. A relevância da aplicação deste teste em nossa metodologia se dá pela necessidade de sabermos se algum dos indivíduos teria dificuldade em distinguir cores que podem fazer parte das imagens utilizadas no visualizador molecular, comprometendo sua compreensão pictórica. Esta possível dificuldade de diferenciar cores estaria ligada a fatores que interferem na flexibilidade restrita. (Anexo B).

Para cada imagem digite o número que você pode ver. Se você não vê nada, deixe a resposta em branco.

Figura 7: Excerto do teste de Ishihara

Fonte: Ishihara, 1972

- Teste de Interpretação de representações moleculares

Este teste foi elaborado pelo grupo de pesquisa com o intuito de levantar informações sobre a capacidade de transposição de estruturas moleculares representadas tridimensionalmente para estruturas moleculares bidimensionais. Vale ressaltar que neste teste os participantes tinham como ponto de apoio para a resolução a diferenciação por cores dos elementos químicos que formavam as estruturas moleculares representadas. Com este recurso, não era imprescindível aos indivíduos ter domínio conceitual para resolver corretamente o teste. Bastava algum reconhecimento de cores e de posição relativa entre as esferas que representavam os átomos nas estruturas. A inserção deste teste se justifica a partir da possibilidade de analisarmos por ele tanto o fator de rotação mental quanto o de orientação espacial. O

teste é formado por cinco questões de múltipla escolha com quatro alternativas cada, com grau crescente de complexidade do arranjo molecular (Anexo C).

Figura 8: Excerto do teste de Interpretação de representações moleculares

Fonte: da autora

- Purdue Visualization Rotation Test

O *Purdue Visualization Rotation Test* (PVRot) é uma versão curta de 20 itens do PSVT:R original (BODNER; GUAY, 1997). Ele é usado para medir a habilidade de rotação mental 3D de indivíduos a partir de 13 anos em um tempo limite estabelecido pelo autor de 10 min. A aplicação deste teste em nosso protocolo teve como objetivo levantar indicadores acerca das habilidades visuoespaciais dos indivíduos envolvidos, especificamente a rotação mental, a partir do total de acertos obtidos. O teste é formado por questões de múltipla escolha com cinco alternativas cada. Em cada questão o indivíduo visualiza uma imagem e a respectiva rotação da mesma, como um modelo para orientar a resolução da questão. Logo abaixo, na mesma questão, tem-se outra imagem e o indivíduo deve, a partir do mesmo movimento de rotação realizado com o modelo, encontrar a imagem correspondente entre as alternativas. O uso deste teste se justifica por ser já reconhecido no meio acadêmico há muitos anos (Anexo D).

Figura 9 - Excerto do teste de *Purdue Visualization Rotation Test*

Fonte: Guay, 1997

- Teste com o visualizador de estruturas moleculares interativas

Como comentado anteriormente, o teste com o visualizador era composto de quatro representações moleculares: a molécula identificada como “0” que é uma representação molecular considerada de treino tanto para a ambientação do usuário com o visualizador quanto com o mouse; a molécula identificada como “intro”, de fórmula estrutural simples e com diferenciação de cores para átomos de elementos químicos distintos e as moléculas identificadas como “teste 1” e “teste 2”, ambas representações das estruturas moleculares da batracotoxina com a diferença que a representação no “teste1” era com diferenciação de cores para átomos de elementos distintos e a representação no “teste 2” apresenta todos os átomos na cor cinza. O interesse em propor testes com representações de estruturas moleculares com diferenciação na

coloração é modificar a demanda cognitiva, além do registro da rotação mental por meio da interação e a flexibilidade restrita (Anexo E).

Figura 10 - Tela do Visualizador Molecular

Fonte: da autora

- Questionário sobre o esforço mental

Um questionário online onde numa escala *Likert* de 1 a 9, sendo 1 "muito, muito baixo esforço mental" e 9 "muito, muito alto esforço mental", o indivíduo indica o seu esforço mental no uso do programa de visualização molecular, tanto na molécula de treinamento, quanto na intro, na colorida e na cinza. Embora seja uma ferramenta que permite obter dados bastante subjetivos, ainda assim devemos considerar que ninguém melhor que o próprio indivíduo que interagiu com a ferramenta para graduar o quão intenso foi o esforço empenhado na resolução dos testes. (Anexo F)

- Questionário de Usabilidade

Um questionário online onde numa escala de 1 a 5, sendo 1 "Discordo totalmente" e 5 "Concordo completamente", o indivíduo indica se julgou adequadas as cores nas moléculas, se as cores auxiliaram na resolução de problemas, se as instruções era claras, organizadas e úteis, se a tela do computador apresentava

contraste, se o mouse funcionou adequadamente, entre outras afirmações correlatas aos testes e equipamentos utilizados.

Tabela 2 – Sequência da tomada de dados

Sequência	Teste/Questionário	Tempo Empregado	Dado Obtido
1	Exposição Prévia e Familiaridade	10 minutos	Origem acadêmica e Familiarização com representações
2	Cores de Ishihara	15 minutos	Distinção de cores
3	Interpretação de representações	10 minutos	Transposição de representações tridimensionais impressas para bidimensionais impressas
4	PVRot	10 minutos	Indicador sobre a habilidade de rotação mental
5	Visualizador Molecular	10 minutos	Indicadores sobre a rotação mental, a orientação mental e a flexibilidade restrita.
6	Esforço mental	5 minutos	Indicador sobre o esforço mental envolvido
7	Usabilidade	5 minutos	Informações sobre a facilidade de uso dos computadores e de aplicação dos testes.

Fonte: da autora

A sequência de tomada de dados foi realizada na sala de multimídia do Instituto de Química - USP com computadores com a resolução de tela ajustada da mesma forma e em número suficiente para cada indivíduo. É relevante destacar este ponto pois por usarmos uma ferramenta computacional que exige que o indivíduo diferencie formas e

cores, e, por isso, o contraste das cores bem como a definição podem interferir, buscamos garantir que todas as tomadas de dados acontecessem no mesmo ambiente. Cada participante da pesquisa respondeu a todos os questionários e executou individualmente este conjunto de testes na ordem descrita. Cada sessão levou cerca de 60 minutos (ANEXO G).

4.2 – Componentes da amostra

Todo este protocolo foi aplicado em dois momentos distintos: uma primeira coleta, realizada em Setembro de 2015 totalizando 23 indivíduos: 18 estudantes de um cursinho pré-vestibular gratuito, 1 aluno da pós-graduação em farmácia e 4 alunos da graduação em farmácia. O grupo do cursinho era bastante heterogêneo, tendo 3 estudantes já graduados (dois em química e um em engenharia) e um aluno refugiado com acentuadas dificuldades com o nosso idioma. Por conta desta dificuldade, este indivíduo não conseguiu compreender as perguntas e comandos de toda a sequência, e nossa intervenção auxiliando-o poderia interferir na imparcialidade da pesquisa, comprometendo as informações obtidas deste indivíduo. Após análise prévia dos mesmos, consideramos o descarte dos dados obtidos com este indivíduo. Os 23 citados anteriormente não o envolvem.

Uma nova tomada foi realizada em Setembro de 2016, envolvendo no total 27 indivíduos: 2 alunos cursando primeiro ano de Ciências Moleculares, 12 alunos cursando primeiro ano de graduação em Química, 8 alunos cursando segundo e terceiro ano de graduação em Química, 1 aluno formado em Química Ambiental e 4 alunos da Licenciatura em Química.

Os indivíduos da primeira coleta foram convidados a participar na qualidade de voluntários por um dos integrantes do nosso grupo de pesquisa que era, naquele período, professor de química deles. Já o segundo grupo foi convidado através de uma mensagem de correio eletrônico disparada pela seção de graduação do Instituto de Química - USP para todos os alunos da graduação, especificando que a participação na pesquisa era voluntária.

A todos os participantes da pesquisa foi solicitada a leitura do termo de Livre Consentimento e a sua assinatura, caso concordassem em participar da pesquisa, antes de iniciar a aplicação de todos os testes e questionários. Os mesmos eram esclarecidos sobre qualquer dúvida advinda da leitura do mesmo (ANEXO A).

4.3 – Tratamento dos dados

Os dados obtidos a partir da sequência de aplicação dos testes e questionários apresentam três tipos de tratamentos:

1 - Estatística descritiva, onde os dados da amostra são apresentados por máximo e mínimo, média, sigma, moda e coeficiente de Pearson.

2 - Análise por *Hierarchical Cluster Analysis* (HCA) ou Análise de Grupamentos Hierárquicos, é um método de análise de grupos que busca construir uma hierarquia entre os grupos de dados obtidos. O objetivo é exibir os dados enfatizando seus agrupamentos e padrões. O distanciamento entre os pontos reflete a similaridade de suas propriedades, auxiliando na determinação de semelhanças entre amostras, agrupando-as entre si. O resultado do HCA é geralmente apresentado em um dendrograma, um gráfico que mostra a organização das amostras e suas relações na forma de árvore. O agrupamento é obtido pelo uso de uma métrica apropriada de distância das amostras (geralmente distância Euclideana, Mahalanobis ou Manhattan) e critério de ligação entre os grupos. Complete, single, average e Ward são as variações mais comuns dos métodos de ligação (GRANATO, KARNOPP, & VAN RUTH, 2015 *apud* GRANATO *et al*, 2018). Em nossa análise, usamos o método Ward que, de acordo com Cornish (2007)

“é um método onde todos os pares possíveis de clusters são combinados e a soma do quadrado das distâncias dentro de cada grupo são calculadas. Isso é então somado a todos os grupos. A combinação que dá a menor soma de quadrados é escolhida. Este método tende a produzir aglomerados de tamanho aproximadamente igual, o que nem sempre é desejável. Este método é também bastante sensível a dados que fogem da amostra. Apesar disso, é um dos métodos mais populares.”

Nosso critério de escolha deste método se deu a partir da observação das características de cada grupo, encontrando parâmetros entre os dados que explicassem a coerência do grupamento obtido pelo método.

3 – Análise correlacional de parâmetros obtidos em nossa sequência, como, por exemplo a pontuação obtida no teste PVRot e o tempo de resolução nos testes do visualizador de estruturas moleculares.

Capítulo 5 – Análise Global dos Resultados

5.1 – Descrição do conjunto de resultados obtidos

O conjunto de dados coletados para cada indivíduo da amostra com 50 participantes reúne os seguintes dados:

A – Dados referentes ao perfil dos participantes (idade, curso de origem, etc...);

B – Dados referentes à exposição e familiaridade do indivíduo com representações tridimensionais estáticas e dinâmicas interativas;

C – Dados referentes aos parâmetros visuais de identificação de cores a partir do teste de Ishihara;

D – Dados referentes à habilidade cognitiva de rotação mental em sistemas não interativos (pontuação obtida no teste PVRot);

E – Dados referentes às representações moleculares tridimensionais interativas:

Molécula intro	}	tRes, tTotal
Molécula colorida		
Molécula cinza		

F – Dados referentes ao teste de esforço mental, em função de poder nos indicar a demanda cognitiva de nossa sequência.

A tabela abaixo exemplifica estes dados para 4 indivíduos. A tabela completa da amostra se encontra em anexo, ao final desta tese.

Tabela 3 – Conjunto de dados de 4 participantes da amostra

	n	11	12	13	20
Perfil	Faixa etária	menos de 18	18 a 24	18 a 24	mais de 34
	Curso de graduação: nível	Cursinho	Cursinho	Cursinho	Cursinho
		C	C	C	C
	visualização impressos	0	3	3	0 ⁵
	visualização estáticos no pc	1	2	3	0 ⁴
	visualização físicos	2	3	2	0 ⁴
	visualização interativos no pc	0	1	1	0 ⁴
	manipulação físicos	0	1	1	0 ⁶
	manipulação não interativos	0	1	3	0 ⁵
	manipulação interativos	2	2	1	0 ⁵
	uso para estudos	0	1	2	0 ⁵
	Sexo	F	F	F	M
	Pontos teste moléculas	3	5	5	5
	PVRoT	4	7	10	1
Intro	tTotal (s)	77	59,5	75	168
	tRes (s)	12	45,5	54	31
Cor	tTotal (s)	106	88	44,5	59,5
	tRes (s)	29	63	22,5	5,5
Cinza	tTotal (s)	149	110	35	48
	tRes (s)	99,5	28,5	18	30,5

Legenda: PVRot = Purdue Visualization Rotation; tTotal = tempo total; tRes = tempo de resolução; Escalas PVRot = até 20;

Fonte: da autora

5.2 – Análise e discussão dos fatores referentes à exposição prévia e familiaridade com os modelos moleculares

⁵ escala adotada onde a frequência de contato/uso era indicada numericamente de 0 a 4, onde 0 era nunca e 4 era muitas vezes.

⁶ as respostas não eram indicações numéricas, mas sim os termos “raramente”, “duas vezes por ano”, “mensalmente” e “semanalmente”. Para facilitar a tabulação das respostas, foi feita a seguinte correlação: “raramente” foi atribuído o valor 0, “duas vezes por ano” foi atribuído o valor 1, “mensalmente” foi atribuído o valor 2 e “semanalmente” o valor 3.

5.2.1 – Análise global dos dados

A primeira caracterização da nossa amostra com informações sobre subgrupos da população quanto ao nível de ensino de cada indivíduo (cursinho ou graduação) foi trabalhada, tendo a atenção dirigida à exposição prévia e familiaridade com as representações moleculares tridimensionais que estes indivíduos nos indicaram através de suas respostas ao questionário.

Os gráficos 2 a 9 trazem a frequência de indivíduos separados por graduação e cursinho (eixo y) versus frequência de exposição (em porcentagem), tanto à visualização, à manipulação quanto ao uso para fins de estudos (eixo x).

- Exposição à representação de modelos moleculares não interativos

Gráfico 2: Visualização de representações moleculares impressas X nível de ensino

Gráfico 3: Visualização de representações moleculares estáticas (PC) X nível de ensino

Gráfico 4: Visualização de representações moleculares físicas X nível de ensino

Gráfico 5: Visualização de representações moleculares interativas no PC X nível de ensino

Gráfico 6: Manipulação com modelos tridimensionais não interativos X nível de ensino

As respostas obtidas em nossa amostra indicam que a percepção dos alunos sobre a visualização de representações moleculares impressas, bem como a frequência de representações moleculares tridimensionais estáticas computacionais e a visualização de modelos físicos é bastante acentuada na graduação e pouco recorrente no cursinho.

Com relação aos alunos do cursinho, percebe-se um grupo mais heterogêneo com indivíduos que indicaram pouca frequência de visualização de modelos moleculares tridimensionais estáticos computacionais até um número similar de indivíduos que indicaram uma frequência maior.

É relevante destacar que quando nos referimos às respostas dadas pelos alunos do cursinho, estas se relacionam às suas vidas escolares até o momento e não somente o período de estudos no próprio cursinho. E este percurso escolar anterior ao cursinho pode interferir no perfil deste grupo e, conseqüentemente, em suas respostas tendo em vista a diversidade de origens educacionais do mesmo.

De forma geral, a visualização interativa (gráfico 5) também se destaca na graduação, tendo uma heterogeneidade de respostas dentro deste grupo no que tocante à frequência com que visualizavam com uma concentração maior de respostas indicativas de pouca visualização. Já entre os indivíduos do cursinho, as respostas deles indicam baixa frequência de visualização de representações moleculares interativas no PC. Podemos interpretar que este tipo de visualização não é um recurso amplamente explorado na educação básica à despeito da popularização dos computadores, *tablets* e *smartphones* e da facilidade que há de encontrar visualizadores moleculares até mesmo para celulares com baixa demanda de memória e processamento, alguns inclusive gratuitos.

Muitos alunos da amostra do cursinho indicam que na sua percepção quase não manipularam ou manipularam muito pouco modelos tridimensionais não interativos enquanto as respostas dos alunos da graduação indicam uma manipulação um pouco mais recorrente. Estes modelos podem ser vídeos e *gifs* que os próprios alunos utilizaram, por exemplo.

- Exposição à representação de modelos interativos

Gráfico 7: Manipulação com modelos tridimensionais físicos X nível de ensino

Gráfico 8: Manipulação com modelos tridimensionais interativos no PC X nível de ensino

A percepção dos alunos sobre a manipulação de modelos tridimensionais físicos e modelos interativos no PC é baixa entre os indivíduos advindos do cursinho, em nossa amostra, comparativamente aos indivíduos da graduação. No entanto, vale destacar que mesmo dentro da amostra de alunos da graduação há a incidência de respostas indicando que poucas vezes se mexeu com modelos moleculares físicos ou no PC, o que denota a frágil presença deste recurso material neste nível de ensino.

- Frequência de Uso para fins de estudo em cada nível de ensino

Gráfico 9: Frequência de uso de modelos para fins de estudo X nível de ensino

A maioria dos alunos do cursinho indicam em suas respostas que há pouquíssimo uso dos modelos tridimensionais para fins de estudo. Já o grupo da graduação apresenta tanto alunos que, como os do cursinho, indicam pouquíssimo uso para este fim, quanto uma outra parte deste mesmo grupo indica, com a mesma frequência, um uso maior dos modelos tridimensionais para fins de estudo.

Por este levantamento a partir do questionário de exposição prévia e familiaridade percebemos que, embora haja uma exposição às visualizações e haja a manipulação de representações de modelos tridimensionais na graduação, a interação na interface computacional é pouco explorada. No grupo advindo do cursinho esta interação é ainda menor, de acordo com as respostas dos alunos.

- Teste de Ishihara

Outro teste aplicado à amostra e que nos auxiliou em sua caracterização foi o teste de Ishihara. O mesmo já foi explicado anteriormente e vale tratar aqui do resultado obtido com a aplicação do mesmo: 100 % de nossa amostra diferencia cores; todos apresentaram excelentes resultados neste teste o que para nossa investigação era bastante relevante, visto que uma das representações moleculares que os indivíduos iriam usar possuía áreas com cores distintas e que poderia ter sua resolução comprometida.

- Teste sobre interpretação e transposição de representações moleculares

Na investigação também havia um teste de interpretação de representações moleculares tridimensionais estáticas para bidimensionais estáticas com o intuito de obtermos dados sobre a interpretação deste tipo de imagens. Especificamente, este teste envolve tanto o fator de rotação mental, quanto o de orientação espacial por serem componentes da visualização espacial que o aluno precisará requisitar para decodificar a imagem tridimensional, juntamente com a flexibilidade restrita, e encontrar a representação molecular bidimensional correspondente. Os resultados obtidos são apresentados no gráfico abaixo.

Gráfico 10: Teste sobre interpretação de representações 2D X nível de ensino

Os gráficos 10 traz a frequência de indivíduos separados por graduação e cursinho (eixo y) versus frequência de acertos (em porcentagem) do teste sobre interpretação e transposição de representações moleculares (eixo x).

A grande maioria dos alunos da graduação tiveram êxito na realização deste teste com alto número de acertos, diferentemente dos alunos do cursinho.

5.2.2 – Análise Hierárquica por Agrupamento (HCA)

O conjunto de dados referentes à percepção dos estudantes sobre a sua exposição às representações visuais de modelos moleculares foi analisada também por HCA.

Figura 11 - Dendograma resultante da análise por agrupamento hierárquico das respostas referentes à percepção de exposição prévia e familiaridade dos estudantes. A análise foi realizada pelo método de agrupamento Ward.

Fonte: da autora

A partir do dendograma acima é possível identificar quatro grupamentos em nossa amostra. Da análise por HCA selecionamos 4 grupos da amostra, os quais consideramos relevantes. Os parâmetros estatísticos descritos de cada grupo são apresentados a seguir.

Tabela 4 – Dados estatísticos dos grupos para a exposição prévia e a familiaridade às representações não interativas

	Visualização Impressos	Visualização Estáticas	Visualização Físicos	Visualização Interativas	Manipulação Não Interativas
Geral					
N = 50	Máx: 4,2	Máx: 4,0	Máx: 4,0	Máx: 4,0	Máx: 4,0
F M	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:0,0
C:11 6	3,1 ± 1,0	2,7 ± 1,1	2,4 ± 1,0	1,6 ± 1,0	1,5 ± 1,2
G:15 7	Moda: 3	Moda: 3	Moda: 3	Moda: 2	Moda: 1
A					
n = 15	Máx: 4,5	Máx: 4,0	Máx: 4,0	Máx: 4,0	Máx: 4,0
F M	Mín:2,0	Mín:2,0	Mín:2,0	Mín:1,0	Mín:1,0
C:2 1	3,5 ± 0,8	3,1 ± 0,9	3,4 ± 0,6	2,5 ± 0,9	2,7 ± 1,0
G:4 8	Moda: 4	Moda: 3	Moda: 4	Moda: 3	Moda: 3
B					
n = 10	Máx: 4,0	Máx: 2,0	Máx: 3,0	Máx: 2,0	Máx: 1,0
F M	Mín:0,0	Mín:0,5	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:0,0
C:5 4	1,9 ± 1,2	1,2 ± 0,7	1,6 ± 0,8	0,5 ± 0,7	0,4 ± 0,5
G:- 1	Moda: 2	Moda: 2	Moda: 2	Moda: 1	Moda: 1
C					
n = 10	Máx: 4,1	Máx: 4,0	Máx: 4,0	Máx: 3,0	Máx: 3,0
F M	Mín:3,00	Mín:2,75	Mín:1,0	Mín:0,0	Mín:0,0
C:- 1	3,6 ± 0,5	3,2 ± 0,6	2,2 ± 1,0	1,3 ± 0,8	1,5 ± 0,8
G:4 5	Moda: 4	Moda: 4	Moda: 2	Moda: 2	Moda: 2
D					
n = 15	Máx: 4,0	Máx: 4,0	Máx: 3,0	Máx: 3,0	Máx: 3,0
F M	Mín:2,0	Mín:2,0	Mín:1,0	Mín:1,0	Mín:0,0
C:4 -	3,1 ± 0,8	2,9 ± 0,8	2,0 ± 0,6	1,6 ± 0,8	1,1 ± 1,1
G:7 3	Moda: 3	Moda: 3	Moda: 3	Moda: 2	Moda: 1

Fonte: da autora

Tabela 5 – Dados estatísticos dos grupos para a exposição prévia e a familiaridade à representações interativas

	Manipulação Físicos	Manipulação Interativas	Uso Estudo	Teste Interp. Moléculas
Geral				
N = 50	Máx: 4,0	Máx: 4,0	Máx: 3,0	Máx: 5,2
F M	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:3,0
C:11 6	1,5 ± 1,1	1,3 ± 1,1	1,0 ± 1,1	4,6 ± 0,6
G:15 17	Moda: 2	Moda: 2	Moda: 1	Moda: 5
A				
n = 15	Máx: 4,0	Máx: 4,0	Máx: 3,0	Máx: 5,2
F M	Mín:1,0	Mín:1,0	Mín:0,0	Mín:3,0
C:2 1	2,9 ± 0,9	2,4 ± 1,0	1,3 ± 1,0	4,6 ± 0,6
G:4 8	Moda: 3	Moda: 3	Moda: 2	Moda: 5
B				
n = 10	Máx: 1,0	Máx: 2,0	Máx: 0,0	Máx: 5,0
F M	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:3,0
C:5 4	0,5 ± 0,5	0,6 ± 0,8	0,0 ± 0,0	3,9 ± 0,5
G:- 1	Moda: 1	Moda: 1	Moda: 0	Moda: 5
C				
n = 10	Máx: 2,0	Máx: 1,25	Máx: 0,0	Máx: 5,2
F M	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:4,0
C:- 1	1,1 ± 0,7	2,4 ± 1,0	0,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3
G:4 5	Moda: 2	Moda: 3	Moda: 0	Moda: -
D				
n = 15	Máx: 2,0	Máx: 2,0	Máx: 3,0	Máx: 5,0
F M	Mín:0,0	Mín:0,0	Mín:1,0	Mín:5,0
C:4 -	1,1 ± 0,5	1,2 ± 0,7	2,1 ± 0,7	5,0 ± 0,0
G:7 3	Moda: 2	Moda: 2	Moda: 3	Moda: 5

Fonte: autora

No grupo A, formado por 15 indivíduos, há um predomínio de indivíduos da graduação, em sua maioria com o máximo de acertos no teste de moléculas, alta frequência de visualização de modelos impressos e físicos, baixa frequência de visualização e manipulação de modelos interativos e pouco ou nenhum uso de modelos para fins de estudo.

No grupo B, formado por 10 indivíduos, há um predomínio de alunos do cursinho. Estes apresentam um resultado mediano para alto no teste de moléculas, não fizeram uso de modelos para fins de estudo e indicam baixa frequência tanto no uso quanto na visualização de modelos.

No grupo C, formado por 10 indivíduos, onde também predomina os advindos da graduação, quase a totalidade deles obteve a pontuação máxima no teste de moléculas ao mesmo tempo que indicaram não terem feito uso de modelos para fins de estudos. Apresentam baixa frequência de manipulação dos modelos bem como de visualização de modelos interativos, estáticos no PC e físicos. No entanto, mostram uma maior familiaridade na visualização de modelos impressos.

Também no grupo D, formado por 15 indivíduos, há um predomínio da graduação, todos com pontuação máxima no teste de moléculas, indicam um baixo uso para fins de estudo, baixa manipulação e visualização de modelos físicos, interativos e não interativos no computador (PC), porém com uma frequência de visualização mais heterogênea, tanto nos estáticos no PC quanto nos impressos.

Ao analisarmos a constituição destes grupos percebemos que em todos a interatividade é baixíssima, tanto na visualização quanto na utilização dos modelos. A interação não parece ser um fator presente na vida acadêmica dos indivíduos de nossa amostra, tanto na educação básica quanto na graduação. E mesmo o recurso mais amplamente encontrado que são as representações moleculares impressas (livros, apostilas,...), não são majoritariamente reconhecidas pelos indivíduos de nossa amostra como visualizadas, ou seja, embora expostos frequentemente a este recurso indicam uma baixa frequência de visualização. Como podemos entender esta percepção dos indivíduos? Talvez uma baixa valorização deste recurso para a compreensão do conhecimento, inclusive químico mas não só, tanto por parte dos alunos como por parte dos docentes de todos os níveis de ensino e a pouca identificação destes modelos como recursos de aprendizagem por parte dos indivíduos. Nos gráficos analisados no início do capítulo, esta análise é corroborada, tanto no enfoque da baixa manipulação de representações de estruturas moleculares físicas ou virtuais quanto na percepção da visualização de representações moleculares, sendo esta um pouco mais acentuada entre os indivíduos da graduação.

Capítulo 6 – Relação entre a Habilidade Visuoespacial de Rotação e o Processo de Interação com Representações 3D Interativas

6.1 – Distribuição geral dos dados obtidos com o visualizador e o PVRot

A partir dos dados de PVRot obtidos, pudemos fazer a primeira caracterização da nossa amostra com informações sobre sub-grupos da população quanto ao nível de ensino de cada indivíduo (cursinho ou graduação) e o sexo masculino (M) ou feminino (F),

Tabela 6 - Caracterização da amostra a partir do PVRot

	Máximo	Mínimo	Média +- sigma	Moda
Geral (n=50)				
M= 24	17	12	13,0 ± 4,0	14,5
F= 26	13	7	10,0 ± 3,0	10
Graduandos (n=33)	16	12	14,0 ± 2,0	14
M= 18	17	13	15,0 ± 2,0	16
F= 15	16	9	12, 0 ± 4,0	12
Cursinho (n=17)	10	5	7,0 ± 3,0	10
M= 6	13	3	8,0 ± 5,0	6,5
F= 11	10	5	7,0 ± 3,0	7,0

Legenda: M = Masculino; F = Feminino

Fonte: da autora

Para exemplificar o entendimento dos dados desta tabela, vamos retratar os valores correspondentes a análise da amostra geral. Quando considerada a amostra segmentando-a pelo sexo, temos para o sexo masculino um máximo de pontuação de 17 e um mínimo de 12, com uma média de 13,0 variando em 4,0 para mais ou para menos e um valor de maior recorrência correspondente a 14,5. Já para o sexo feminino, temos um máximo de pontuação de 13 e um mínimo de 7, com um média de 10,0 variando em 3,0 para mais ou para menos e um valor de maior recorrência correspondente a 10. Portanto, podemos identificar uma maior pontuação no PVRot obtida pelos indivíduos do grupo da graduação em comparação com os do cursinho. Dentre os fatores que podem corroborar para tal resultado em nossa amostra podemos elencar a possibilidade de um maior uso das habilidades visuoespaciais de rotação mental em razão das demandas acadêmicas, um maior grau de exposição a modelos de representação molecular em situações de ensino-aprendizagem que requisitam o uso de rotação mental ou somente a visualização dos modelos moleculares tridimensionais em diversos meios como impresso, computacional, etc. Estes fatores foram contemplados no questionário de exposição prévia e familiaridade ao qual os alunos responderam e, como já discutido no capítulo anterior, a percepção dos estudantes sobre sua exposição e

familiaridade às representações de modelos moleculares estáticos, 2D ou 3D, é baixo tanto nos que estão no cursinho quanto nos alunos de diversos anos da graduação. Podemos supor que embora os alunos da graduação tenham a percepção de baixa familiaridade com este tipo de representação, fato é que a exposição a este tipo de modelo, mesmo que impresso, favorece o desenvolvimento de algumas habilidades visuoespaciais, como a de rotação, por exemplo.

Seguindo com nossas análises dos dados obtidos a partir do uso do visualizador molecular para as três representações de estruturas moleculares identificadas como intro (representação de introdução), cor (representação colorida) e cinza (representação de coloração monocromática), o seguinte dendograma foi obtido:

Figura 12: Dendograma resultante da análise por agrupamento hierárquico das respostas referentes ao PVRot e aos tRes e tTot. A análise foi realizada pelo método de agrupamento Ward.

Fonte: da autora

Podemos observar no dendograma a identificação de quatro grupos em nossa amostra a partir dos parâmetros inseridos no minerador. Cada um destes foi analisado e sua composição e caracterização serão descritos a seguir. É relevante destacar que todos os dados numéricos obtidos foram normalizados de 0 a 100%, em função da nossa amostra, para serem tratados pelo programa. Caso contrário, cada um deles teria um peso diferente pois ele trataria com maior peso as variáveis que apresentassem maior amplitude e isto poderia acarretar distorções em nossa análise. Todos os valores absolutos obtidos pelo visualizador estão em uma tabela, no anexo.

O grupo 1 se caracteriza por 21 indivíduos com rendimento no PVRot a partir de 50% dos resultados obtidos em nossa amostra, tempos totais na representação da molécula colorida e na representação da molécula cinza abaixo de 41% e 33%, respectivamente, bem como tempos de resolução abaixo de 37% na representação da molécula colorida e de 31% na molécula cinza. Percebemos um grupo com resultados coesos, que apresentam rendimento semelhante tanto na representação colorida quanto na cinza, denotando que para estes a cor não é um fator relevante na identificação visual para a resolução deste perfil de problema. E qual seria a estratégia de resolução destes participantes?

Uma possibilidade é que estes indivíduos "aprenderam" a molécula colorida e reconheceram que o teste cinza se refere à mesma sem coloração. Esta aprendizagem pode ter se dado pelo reconhecimento de padrões na forma da imagem, bem como na posição relativa entre as partes constituintes da mesma. Esta consideração se respalda no artigo de Bülthoff, Edelman & Tarr (1994) que trata sobre o reconhecimento e representação de objetos em três dimensões gerados por computador. Na publicação algumas teorias e experimentos são comentados e os respectivos resultados favorecem uma teoria alternativa de reconhecimento, a qual baseia-se em pontos de vista específicos para a grande parte das representações bidimensionais. No caso de representações tridimensionais, o referido artigo trata que o reconhecimento destes objetos depende intensamente do posicionamento do mesmo. Esta abordagem refere-se a teorias que tratam o reconhecimento de representações tridimensionais por pontos de vista específico ("*Viewpoint-specific three-dimensional representations*").

No grupo 2, formado por 9 indivíduos, temos dados dispersos como valores de PVRot variando entre 15% e 80%, bem como tempo de resolução da representação molecular colorida (tRes Cor) variando entre 3% e 66% e tempo de resolução da representação cinza (tRes Cinza) variando entre 38% e 100%. Os valores correspondentes aos tempos totais na

representação colorida variam entre 19% e 87%, tendo uma maioria na faixa dos 43%, e na representação cinza, o intervalo vai de 52% a 65%, com um estudante com valor de 100%.

Para estes indivíduos, diferentemente do grupo anterior, as colorações distintas da representação molecular podem ou não auxiliar na resolução. No entanto, o melhor resultado obtido no tTotal Cinza pode nos indicar, mais uma vez, um “aprendizado” com relação à forma e posicionamento da representação.

Para o grupamento 3, formado por 8 indivíduos, os valores obtidos com os resultados do PVRot ficam entre 30% e 65%. O tTotal Cor ficou acima de 60% e o tTotal cinza ficou abaixo de 49%. Já o tRes Cor apresenta um intervalo grande de variação, ficando entre 28% e 100% e o tRes Cinza apresentou valores inferiores a 40%.

Os resultados obtidos por estes alunos nos tempos de resolução e total da representação de estrutura molecular cinza denota a não dependência das colorações distintas para a resolução, podendo ter ocorrido com estes alunos um reconhecimento de posições relativas de pontos distintos da representação. Esta informação é corroborada por Khooshabeh e Hegarty (2014) ao afirmarem que “Se representações mentais de objetos durante a rotação mental possuem apenas informações espaciais (forma) e não detalhes visuais distintos, a cor não deve afetar o desempenho na tarefa.”. Podemos supor que houve um reconhecimento de forma, de geometria do objeto.

A maioria dos indivíduos do quarto grupamento apresenta um rendimento no PVRot entre 5% e 85% dos acertos totais de nossa amostra. Além deste resultado, o parâmetro tRes Cor apresenta um valor inferior a 36% enquanto o tRes Cinza apresenta valores inferiores a 50%. O tTotal Cor apresenta variação de 25% a 88% e o tTotal Cinza varia de 21% a 63%. Estes resultados nos indicam um grupamento bastante heterogêneo quanto ao parâmetro do PVRot, mas usam a diferenciação de cor na representação molecular para ter um baixo tempo de resolução do problema de visualização molecular.

Este resultado denota o possível uso da coloração como estratégia para a resolução do problema de visualização. Embora não tenhamos como ser assertivos quanto a estratégia usada, é possível esta ponderação se considerarmos que, visualmente os pontos coloridos na representação molecular se destacam em relação ao restante da coloração da mesma. No trabalho de Khooshabeh e Hegarty (2014), eles afirmam que “Se as representações de objetos durante a rotação mental incluem informações visual e espacial, os participantes devem ser afetados por a cor.”. Não podemos descartar a possibilidade de aprendizado das

formas das representações, pois uma abordagem não refuta a outra, podendo um indivíduo usá-las em simultâneo.

A tabela a seguir reúne os dados coletados pelo visualizador que caracterizam cada grupo gerado pelo programa.

Tabela 7 - Caracterização de cada grupo em função dos dados do visualizador

	PVRot	tTotal Cor	tRes Cor	tTotal Cinza	tRes Cinza
Grupo 1 (n=21)					
G = 18/ C = 3					
Máx	100	65	37	34	32
Mín	35	12	4	5,0	4
Média +- sigma	76 ±17	31, ± 10	16 ± 9	17 ± 6	13 ± 7
Moda	80	33,00	14,00	16,00	12
Grupo 2 (n=9)					
G = 5/ C = 4					
Máx	80	87	66	100	100
Mín	12	19	3	52	38
Média +- sigma	44 ± 21	51 ± 20	26 ±19	68 ± 15	77 ± 20
Moda	40	47	27,00	65,00	82,00
Grupo 3 (n=8)					
G = 3/ C = 5					
Máx	65	97	100	49	40
Mín	30	60	28	15	17
Média +- sigma	44 ± 12	82 ± 12	53 ± 22	31 ± 13	24 ± 6
Moda	42,50	80	48	25	23
Grupo 4 (n=12)					
G = 7/ C = 5					
Máx	85	88	36	63	50
Mín	5	25	4	21	9
Média +- sigma	52±24	52±18	19 ± 11	39 ±11	31 ± 14
Moda	60	50	18	39	37

Fonte: da autora

A análise dos dados obtidos nos permite inferir que bons resultados (acima de 50%) no teste de rotação mental não implicam em bons resultados em todo e qualquer teste de visualização molecular. Em verdade, indivíduos que apresentem baixo rendimento no teste PVRot, podem apresentar bons resultados em testes de visualização molecular, independentemente de as representações apresentarem coloração distinta ou não. Uma possível explicação para tal constatação pode ser a interatividade proposta por nossa ferramenta de visualização. Ao interagir com a representação molecular, o indivíduo passa a ter uma menor demanda cognitiva visto que parte do processo cognitivo que antes se apoiava

em ter que “imaginar” um modelo mental, que seria o modelo interno espelhado da representação externa, e a partir daí, precisar realizar todas as previsões possíveis de movimentos em seu sistema cognitivo, agora pode realizar estes mesmos movimentos diretamente na representação da estrutura molecular do visualizador, trazendo a este indivíduo um suporte material que até então ele não possuía. Nossa suposição é de que há a ocorrência simultânea da decodificação representação molecular durante a interação. Já no teste PVRot, a demanda cognitiva é maior visto que não há qualquer suporte material a ser usado para apoiar a resolução do teste. Todas as previsões de movimentos necessários à resolução devem ser “imaginados” pelo aluno e, de acordo com a posição da imagem da representação, com a vista do objeto, o estudante poderá ter maior ou menor dificuldade de decodificá-la.

6.2 – Análise de Resolugramas de cada grupo

Nesta seção iremos analisar o resolugrama de um aluno de cada grupo que identificamos a partir do HCA. Nossa intenção é, a partir desta análise, suportar com mais consistência a identificação de cada grupo.

Tanto pelo perfil da curva quanto pelas imagens das posições da representação de estrutura molecular interativa durante o teste, pudemos observar o percurso de resolução do aluno. Além deste registro, também analisamos, em vídeo, as alterações na representação interativa que o mesmo realizava durante todo o teste, o que nos auxiliou na análise e consideração dos dados apresentados.

Gráfico 11: Resolugrama da molécula colorida do indivíduo 13 (grupo 1).

Neste resolugrama, o indivíduo inicia sem manipular a representação, somente observando a imagem. A seção de exploração da representação molecular é curta, com pequenas variações na orientação, atingindo a resolução no tempo de 22,5 segundos. A partir daí, promove pequenos ajustes na posição da imagem até a finalização do teste.

Gráfico 12: Resolugrama da molécula cinza do indivíduo 13 (grupo 1).

No gráfico 12 o indivíduo inicia a exploração da molécula, aumentando a diferença de orientação e, em seguida, atinge o tempo de resolução em 18 segundos. A partir daí o tempo investido nos ajustes finos da imagem é praticamente igual (17 segundos), envolvendo poucas alterações na orientação da estrutura até atingir uma posição que o indivíduo considerou o teste finalizado.

Podemos inferir que a estratégia de resolução na molécula cinza foi o reconhecimento de padrões e formas da imagem. Também é relevante destacar que este indivíduo fazia parte do grupo de alunos originários do cursinho pré-vestibular, mas já apresentava uma graduação concluída em Engenharia, conforme sua resposta ao questionário de perfil. Sua trajetória acadêmica em um curso de graduação que requer o uso e desenvolvimento de habilidades visuoespaciais de rotação mental é um fator importante, que explica em grande parte o seu baixo tempo de resolução em ambas as representações.

Gráfico 13: Resolugrama da molécula colorida do indivíduo 11 (grupo 2).

Este gráfico apresenta um tempo de observação pequeno seguido de um período de exploração da representação caracterizado com movimentos iniciais de pouca amplitude, um movimento com redução da diferença de orientação no tempo de 17 segundos e um aumento da diferença de orientação até o tempo de 29 segundos. Neste tempo, o indivíduo realiza um movimento que aproxima a posição da representação dinâmica da estática, como podemos constatar pela comparação da posição da representação interativa com a estática, sendo este o tempo considerado como o de resolução do teste. A partir de então, o indivíduo investe 77 segundos ajustando a posição da representação molecular, finalizando o teste no tempo de 106 segundos, tempo total.

Gráfico 14: Resolugrama da molécula cinza do indivíduo 11 (grupo 2).

No gráfico 14 há um intervalo de tempo de exploração caracterizado por muitas alterações na posição da representação. O indivíduo interage com a imagem, provocando várias oscilações na diferença de orientação da representação, até o tempo de 99,5 segundos, quando a queda abrupta da curva no gráfico é identificada e, a partir deste tempo, somente pequenas alterações na diferença de orientação são observadas, caracterizando o período de ajuste fino da posição da representação até o teste ser finalizado pelo indivíduo em 149 segundos.

Gráfico 15: Resolugrama da molécula colorida do indivíduo 12 (grupo 3).

Neste resolugrama percebemos um curto tempo de observação, seguido de um período de resolução onde o indivíduo, por mais de uma vez, se aproximou da posição da representação estática, mas, provavelmente não a reconheceu, provocando movimentos que aumentaram a diferença de orientação, tendo resolvido o teste em 63 segundos. A partir deste momento, movimentações mais sutis são realizadas a título de ajuste da posição da representação, terminando o teste em 88 segundos.

Gráfico 16: Resolugrama da molécula cinza do indivíduo 12 (grupo 3).

Já neste gráfico, o indivíduo 12 apresenta um tempo de resolução de 28,5 segundos, com alterações na diferença de orientação, mas com um comportamento bastante interessante próximo de resolver: embora a curva apresente uma diferença de orientação acentuada tanto em 10 segundos como em 18 segundos, é neste segundo momento que podemos verificar um intervalo de tempo onde esta seção da curva não se altera. E porque este trecho nos chama a atenção? Porque logo em seguida, a curva apresenta uma queda brusca, com consequente diminuição da diferença de orientação e é o exato ponto onde identificamos que o indivíduo atinge a resolução do teste a partir da comparação das imagens da representação interativa com a estática. É como se ele tivesse ficado a observar a representação e decidisse pelo movimento que culminaria na resolução. A partir deste momento, ainda ocorrem manipulações da imagem, algumas com amplitude acentuada de movimento – amplitude esta interpretada pelo aumento da diferença de orientação – porém finalizando o teste com um posicionamento praticamente idêntico da representação dinâmica em comparação com a estática. O tempo envolvido nos ajustes (81,5 segundos) é bastante superior ao tempo envolvido na resolução (28,5 segundos).

Vale resgatar que a característica que identifica o grupo 3 é o tempo de resolução da representação de estrutura molecular cinza abaixo de 40% do tempo de nossa amostra, para a maioria dos indivíduos que compõe este grupamento. Todos os outros parâmetros investigados em nosso trabalho, como o resultado obtido no PVRot e os outros tempos de interação com o visualizador, apresentam um grau de dispersão elevado, como por exemplo os resultados de PVRot, que variam entre 30% e 65%.

Gráfico 17: Resolugrama da molécula colorida do indivíduo 20 (grupo 4).

Neste gráfico, após um tempo de observação de 5 segundos, o indivíduo praticamente resolve o teste em 0,5 segundo, identificando um tempo de resolução igual a 5,5 segundos. A partir deste momento, o indivíduo investe 54 segundos ajustando a posição da representação molecular, finalizando o teste em 59,5 segundos com um posicionamento da representação dinâmica muito próximo ao da estática, visto que praticamente não há diferença de orientação ao final da curva.

Gráfico 18: Resolugrama da molécula cinza do indivíduo 20 (grupo 4).

Já neste resolugrama da interação do indivíduo 20 com a representação cinza, há um curto período de observação, seguido de momentos de movimentação da representação com grande amplitude. Quando está próximo do tempo de resolução (30,5 segundos), percebemos que quase não há movimentação da representação por algo em torno de 5 segundos, nos

indicando que possivelmente o indivíduo ficou observando, analisando a posição da representação, para decidir qual seria o próximo movimento a ser feito. A partir daí, há poucas alterações no posicionamento da representação, finalizando o teste em um tempo total de 48 segundos.

O olhar sobre a resolução de cada indivíduo dos grupos identificados, através dos resolugramas, reitera a análise estatística feita anteriormente. A correlação entre o bom resultado no PVRot (acima de 50%) com um suposto bom desempenho em atividades de visualização de representações moleculares interativas não se confirma. Os coeficientes de Pearson para a amostra geral relacionando a atividade de rotação mental não interativa (PVRot) com os testes de visualização molecular interativa (tRes Cor e tRes Cinza) apresentaram os valores de -0,39042161 e - 0,40693107, respectivamente. São valores que denotam não haver, de fato, qualquer correlação entre estes parâmetros. E mesmo ao calcularmos o coeficiente de Pearson para a relação entre o PVRot e o tRes Cor e Cinza separando os alunos entre os advindos do cursinho e os da graduação, os valores obtidos são de -0,13583 e - 0,49864, respectivamente para os alunos do cursinho e -0,42152 e - 0,43894, respectivamente para os alunos da graduação. Ou seja, não há qualquer correlação entre os desempenhos dos alunos de nossa amostra no PVRot e as tarefas de visualização com interatividade, independentemente de serem alunos da graduação e alunos do cursinho.

Tabela 8 – Coeficiente de Pearson PVRot X tRes Cor e t Res Cinza

	Amostra Geral	Cursinho	Graduação
PVRot X tRes Cor	-0,39042161	-0,13583	-0,42152
PVRot X tRes Cinza	- 0,40693107	- 0,49864	-0,43894

Fonte: da autora

Logo, tanto indivíduos com alto rendimento como os que apresentaram baixo rendimento no teste de rotação mental, podem apresentar bons resultados em testes de visualização molecular interativa que requisitam esta habilidade visuoespacial. E, como já citado anteriormente, a nossa hipótese é que a interatividade é um fator que interfere positivamente no desempenho dos alunos em atividades que exijam o uso deste tipo de habilidade visuoespacial e, principalmente, entre aqueles que apresentam esta com baixo desenvolvimento.

Capítulo 7 - Considerações Finais

Os resultados apresentados nos capítulos anteriores fornecem indicadores da exposição prévia dos participantes do estudo a representações de modelos tridimensionais de moléculas e nos permitem tecer considerações sobre o seu processo de interação com representações visuais interativas, um dos objetivos principais desta pesquisa.

Tais considerações são organizadas em alguns pontos focais apresentados a seguir, buscando dialogar com alguns dos pressupostos desta pesquisa.

Os estudantes que realizaram as atividades em menor tempo são aqueles que mobilizam mais rapidamente um esquema ou conjunto de habilidades visuoespaciais. Isto foi provavelmente desenvolvido em vivências anteriores. Esta tendência se manifesta com maior frequência entre os estudantes de graduação de química e farmácia, os quais apresentaram, no geral, pontuação maior no teste PVRot. No entanto, este grupo de estudantes não registra uma percepção da exposição às representações tridimensionais significativamente maior do que os grupos de estudantes que resolveram os problemas interativos mais lentamente. Conjuntamente, estas informações sugerem que, para este grupo de estudantes: i- as habilidades de visualizações envolvidas na resolução dos testes de PVRot parecem ser mobilizadas de forma relevante também na resolução do problema interativo; ii- a exposição prévia às representações de estruturas moleculares parece não ser relevante nem para a resolução das tarefas sem suporte da interatividade no PVRot, nem para aquelas dos testes interativos e, portanto, iii - a contribuição do percurso escolar prévio destes estudantes no desenvolvimento de habilidades cognitivas relevantes para resolução dos testes não se deve à familiaridade com tais representações. Portanto, para este grupo, parece-nos razoável admitir que a interatividade não contribui de forma decisiva para a resolução de problemas envolvendo habilidades visuais. Isto sugere, segundo o referencial adotado neste trabalho, que, em relação aos outros grupos de estudantes delineados nos capítulos anteriores, este grupo de estudantes “mais rápido” parece mobilizar suas habilidades visuais para a resolução do problema interativo com menor sobrecarga cognitiva do que os outros grupos que levam mais tempo para resolver tais tarefas.

Os estudantes que realizaram as atividades em menor tempo no teste envolvendo a representação colorida são aqueles que mobilizam as habilidades visuoespaciais com maior agilidade tendo como ponto de apoio as cores distintas na imagem. Esta tendência se apresenta tanto em estudantes de cursinho como de graduação, os quais apresentaram pontuação intermediária no teste PVRot. Estes estudantes também apresentam uma

percepção baixa com relação à sua exposição prévia a representações de estruturas moleculares. Estas informações nos sugerem que, para este grupo de estudantes: i – embora eles possuam habilidades de visualização envolvidas na resolução dos testes de PVRot menos desenvolvidas que o grupo anterior, parece que a coloração distinta na representação favorece a mobilização de tais habilidades na resolução do problema interativo de forma relevante; ii – também para estes estudantes a exposição prévia às representações de estruturas moleculares parece não ser relevante nem para a resolução das tarefas sem suporte da interatividade no PVRot, nem para aquelas dos testes interativos e, portanto, iii – a contribuição do percurso escolar anterior no desenvolvimento de habilidades cognitivas importantes para a resolução destes testes não se deve à familiaridade. Assim, para este grupo, consideramos admitir que a interatividade, em conjunto com a diferenciação de cores, contribui de forma importante para a resolução de questões envolvendo habilidades visuoespaciais. Isto indica, segundo o referencial adotado, que este grupo de alunos parece mobilizar estas habilidades para resolução de problemas interativos com menor sobrecarga cognitiva quando o mesmo envolve cores distintas na imagem.

Já os estudantes que realizaram as atividades em menor tempo no teste envolvendo a representação cinza são aqueles que mobilizam as habilidades visuoespaciais com maior rapidez tendo como ponto de apoio o reconhecimento de padrões na imagem, comparando posições entre pontos distintos, reconhecendo formas. Esta tendência se apresenta tanto em estudantes de cursinho como de graduação, os quais também apresentam pontuação intermediária no teste PVRot. Para estes alunos, a cor diferente não é um referencial mais relevante que os padrões. Tal como os grupos de alunos anteriores, estes também apresentam uma baixa percepção com relação à sua exposição prévia a representações de estruturas moleculares. Estas informações nos proporcionam que, para este grupo de estudantes: i - embora eles possuam habilidades de visualização envolvidas na resolução dos testes de PVRot menos desenvolvidas, parece que o reconhecimento de formas, padrões, posições relativas na representação favorece a mobilização de tais habilidades na resolução do problema interativo de forma relevante; ii – também para estes estudantes a exposição prévia às representações de estruturas moleculares parece não ser relevante nem para a resolução das tarefas sem suporte da interatividade no PVRot, nem para aquelas dos testes interativos e, portanto, iii - a contribuição do percurso escolar anterior no desenvolvimento de habilidades cognitivas relevantes para a resolução destes testes não se deve à familiaridade. Assim, para este grupo, consideramos admitir que a interatividade, em conjunto com o reconhecimento de formas e posições, contribui significativamente para a resolução de questões envolvendo habilidades visuoespaciais. Isso indica, segundo o referencial adotado, que este grupo de alunos parece mobilizar suas habilidades cognitivas para resolução de tipo

de problemas interativos com menor sobrecarga cognitiva quando o mesmo envolve padrões na imagem.

Os estudantes que realizam ambas as tarefas com menor tempo, quando comparados aos grupos 2 e 3, em ambos os testes, são aqueles que mobilizam com certa agilidade um esquema ou conjunto de habilidades visuoespaciais tal como o grupo 1. Isto pode ter sido construído em vivências anteriores. No entanto, estes alunos apresentam uma pontuação no teste PVRot inferior à pontuação obtida pelo grupo 1, indicando que apresentam habilidades visuoespaciais com menor desenvolvimento. No tocante à percepção destes alunos com relação à sua exposição prévia a representações de estruturas moleculares, ela também é baixa. Estas informações nos proporcionam que, para este grupo de estudantes: i - as habilidades de visualizações envolvidas na resolução dos testes de PVRot parecem ser mobilizadas de forma mais intensa na resolução do problema interativo, favorecidas pelas cores distintas e/ou pelo reconhecimento de formas; ii - a exposição prévia às representações de estruturas moleculares parece não ser relevante para a resolução das tarefas sem suporte da interatividade no PVRot, mas pode ter contribuído para aquelas dos testes interativos e, iii - a contribuição do percurso escolar anterior no desenvolvimento de habilidades cognitivas importantes para a resolução destes testes não se deve, necessariamente, à familiaridade. Assim, para este grupo, consideramos admitir que a interatividade é um fator de maior importância, contribuindo significativamente para a resolução de questões envolvendo habilidades visuoespaciais com interação. Isto significa que, segundo o referencial adotado, estes alunos parecem mobilizar suas habilidades cognitivas para resolução de tipo de problemas interativos com menor sobrecarga cognitiva justamente por conta da interação, visto que a pontuação deles em atividades sem interação não foi alta comparada ao grupo de alunos de maior pontuação em nossa amostra e com habilidades visuoespaciais mais desenvolvidas.

Podemos inferir que mesmo indivíduos com baixa pontuação no PVRot, o que pode ser interpretado que os mesmos possuem conjuntos de esquemas ou habilidades visuoespaciais de rotação mental pouco desenvolvidas, podem apresentar bom aproveitamento da ferramenta de visualização molecular, interagindo com as imagens e obtendo um menor tempo gasto na resolução dos testes. Isto nos leva a afirmar que o teste PVRot é um preditor baixo de desempenho em atividades que possuam interatividade e que a interação possa ser o diferencial para favorecer estes alunos. Devemos considerar que para estes estudantes a sobrecarga cognitiva que sofrem em necessitar modelar a representação estrutural molecular em seu cognitivo, é minimizada pela projeção da mesma na tela do computador, cabendo ao aluno somente visualizar e analisar a imagem e não ter de

necessariamente modelá-la mentalmente. Portanto, mostra-se uma ferramenta de aprendizagem importante para suportar este perfil de aluno e favorecer sua vivência e progressão em atividades acadêmicas, principalmente nas áreas correlatas ao *STEAM*.

No tocante às questões de ensino e aprendizagem, não parece-nos relevante considerar se o aluno demora 20 segundos ou 1 minuto e 30 segundos para resolver um teste de visualização de representações moleculares interativas. É importante se o mesmo resolve o problema do ponto de vista da decodificação e interpretação. Nos parece que a interatividade contribui nesta questão.

Nossa hipótese é de que a interatividade diminui a sobrecarga cognitiva de atividades que mobilizem habilidades visuoespaciais, aqui tratadas pela rotação mental e pela flexibilidade de fechamento, porque a interatividade permite ao indivíduo explorar diversas vistas de um mesmo objeto. Com isto, ela permite superar o baixo desenvolvimento das habilidades visuoespaciais, como a rotação mental, por exemplo. Esta mesma ação (de exploração de diferentes vistas do objeto) sem o apoio de um visualizador interativo implicaria numa sobrecarga cognitiva maior, comprometendo a decodificação e interpretação da representação da estrutura molecular. Um indício desta maior sobrecarga cognitiva é o maior tempo de resolução da atividade. Por isso há pouca congruência entre os dados obtidos pelo PVRot (tarefa não interativa) e os dados obtidos com o visualizador de representações de estruturas moleculares interativas.

A interatividade parece ser um fator majoritário. A forma como o aluno interage com o objeto deve utilizar outras habilidades que não a relação espacial. A interatividade favorece outras formas de se ter a percepção, não só visualmente, mas, por exemplo, pela motricidade a partir do uso do mouse.

Outro ponto a destacar é a qualidade dos dados obtidos a partir desta sequência de testes e questionários. Para uma pesquisa que busca um olhar quantitativo, não só a quantidade, mas a qualidade e a diversidade de dados tornam a mesma mais consistente. Consequentemente, favorece a relevância no meio acadêmico e, principalmente, nos processos de ensino-aprendizagem.

Esta pesquisa inicia a investigação, mas não esgota o tema. Há possibilidades e caminhos possíveis, como estudos sobre a interação a partir de superfícies táteis, como os *tablets*, o uso do teste PVRot na versão revisada ou na versão online, buscando mais dados e informações sobre o papel da interatividade, visto que a visualização e as investigações

sobre as habilidades visuoespaciais ainda é um campo de conhecimento pouco estudado a despeito do reconhecimento da importância que o mesmo tem.

Além da ampliação quantitativa da amostra, também temos interesse em buscar indivíduos de diferentes graus de escolaridade e/ou advindos de cursos de graduação e pós-graduação diversificados, para que a amostra fique mais heterogênea e com isso, podermos seguir com os estudos da metodologia aqui desenvolvida, dos dados obtidos, buscando aumentar a compreensão de outras seções dos resolugramas bem como das análises passíveis de serem realizadas, refletindo na qualidade desta pesquisa e na sua possível aplicabilidade para processos de ensino-aprendizagem.

Capítulo 8 - Referências Bibliográficas

- ARAUJO, I.S.; VEIT, E.A. Interatividade em Recursos Computacionais aplicados ao Ensino-Aprendizagem de Física. Trabalho publicado nos Anais da 14ª Jornada Nacional de Educação. Santa Maria : Editora da Unifra, 2008. Disponível em http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/midias/apoio/14_Jornada_UNIFRA_2008.pdf, acessado em 16 Jul 2018.
- AYRES, P.; GOG, T. State of the art research into Cognitive Load Theory, **Computers in Human Behavior**, 2009, v. 25, p. 253–257.
- BADDELEY, A.D. Working Memory: Theories, Models and Controversies, **Annual Review of Psychology**, 2012, v. 63, p. 1-29.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B., e SILBERSTEIN, J. Is an atom of copper malleable? **Journal of Chemical Education**, 1986, v. 63, n. 1, p. 64-66.
- BODNER, G.M.; GUAY, R.B. The Purdue Visualization Rotation Test, **The Chemical Educator**, 1997, vol. 2, p. 4.
- BÜLTHOFF, H. H.; EDELMAN, S. Y.; TARR, M. J. How are three-dimensional objects represented in the brain?, **Cereb Cortex**, 1994, May-Jun; v. 5, n. 3, p. 247-260.
- CAMPBELL, J. A, Structural Molecular Models. **Journal Chemical Education**, 1948, p. 200-203.
- CHAPLIN, M. Water Models. Water structure and Science. Disponível em: http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_models.html. Acessado em: 28 Jul 2018.
- CHASSOT, A.I. **Para que(m) é útil o ensino? Alternativas para um ensino (de Química) mais crítico**. 1995, Canoas: Ed. Da Ulbra.
- CORNISH, R. Statistics: 3.1 Cluster Analysis, **Mathematics Learning Support Centre**, 2007, p. 1-5. Disponível em : <http://www.statstutor.ac.uk/resources/uploaded/clusteranalysis.pdf>. Acessado em 25 Jul 2018.
- CORNOLDI, C. e VECHI, T. **Visuo-spatial working memory and individual differences**. Hove: Psychology Press, 2003, p. 169.
- DUIT, R. On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. **Science Education**, 1991, v. 75, n. 6, p. 649-672.
- FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M.E.R. Concepções dos estudantes sobre ligações químicas. 2006, n. 24, p. 20-24.
- FERREIRA, P. F. M.; JUSTI, R. S. Modelagem e o Fazer Ciência. **Química Nova na Escola**, 2008, n. 28, p. 32 - 36.
- GABEL, D. Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. **Journal Chemical Education**, 1999, v. 76, n. 4, p. 548-554.
- GALAGÓVSKY, L.; GIACOMO, M. A.; CASTELO, V. Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 2009, vol.8, nº1.

GIBIN, G.B.; FERREIRA, L.H. Avaliação dos Estudantes sobre o Uso de Imagens como Recurso Auxiliar no Ensino de Conceitos Químicos. **Química Nova na Escola**, 2013, v. 35, n. 1, p. 19-26.

GILBERT, J. **Visualization in Science Education**, 1a ed., Netherlands, Springer, 2005, p. 375.

GRANATO, D.; SANTOS, J. S.; ESCHER, G. B.; FERREIRA, B. L.; MAGGIO, R. B. Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective, **Trends in Food Science & Technology**, 2018, v. 72, p. 83-90.

GOMES, C. M. A.; BORGES, O. N. Propriedades psicométricas do conjunto de testes da habilidade visuo espacial, **Psico-USF**, 2009, v. 14, n. 1, p. 19-34.

GÓIS, J. e GIORDAN, M. Telemática educacional e ensino de química: considerações sobre um construtor de objetos moleculares. Linhas Críticas, 2005, 11. Disponível em : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193517360008>, acessado em 23/06/18, ISSN 1516-4896. Acessado em 27 Jul 2018.

HARLE, M.; TOWNS, M. A Review of Spatial Ability Literature, Its Connection to Chemistry, and Implications for Instruction. **Journal Chemical Education**, 2011, v. 88, n. 3, p. 351-360.

HASLAM, C. Y.; HAMILTON, R. J. Investigating the Use of Integrated Instructions to Reduce the Cognitive Load Associated with Doing Practical Work in Secondary School Science, **International Journal of Science Education**, 2009, p. 1-23.

ISHIHARA, S. **The series of plates designed as a Test for Colour-Blindness**. London H.K. & Co Ltda, 1972.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, 1991, v. 7, n. 2, p. 75-83.

_____. The development of chemistry teaching. **Journal of Chemical Education**, 1993, v. 70, n. 9, p. 701-705.

_____. You Can't Get There from Here. **Journal of Chemical Education**, 2010, v. 87, n. 1, p. 22-29.

JUSTI, R. S. Models in the Teaching of Chemical Kinetics. **Unpublished PhD Thesis**. Reading: The University of Reading, 1997.

Khooshabeh, P. ; Hegarty, M. Representations of Shape during Mental Rotation. **Conference: Cognitive Shape Processing**, 2010. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/221251273_Representations_of_Shape_during_Mental_Rotation>, acessado em 30 Jul 2018.

KIRSCHNER, P. A. Cognitive load theory: implications of cognitive load theory on the design of learning, **Learning and Instruction**, 2002, v. 12, p.1-10.

KOZMA, R.B.; RUSSEL, J. Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena, **Journal of Research in Science Teaching**, 1997, v. 34, p. 949-968.

LABOUISSSE, E. C. **Madame Curie**. 1938. Disponível em: <https://artsandculture.google.com/exhibit/marie-curie/ARIN_8xF>. Acessado em 30 Jul 2018.

LEUTNER, D.; LEOPOLD, C.; SUMFLETH, E. Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content. **Computers in Human Behaviour**, 2009, v. 25, p. 284-289.

MILLER, G. A. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. **Psychological Review**, 1956, v. 63, p. 81–97.

MINNÉ, N. Molecular Models in Organic Chemistry. **Journal Chemical Education**, 1929, v. 6, n. 11, p. 1984-1985.

MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, 1996, vol. 1 (3), p. 193-232

_____; GRECA, I. M.; PALMERO, M. L. R. Modelos mentales y modelos conceptuales em la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. **Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências**, 2002, vol. 2 (3), p. 84 - 96.

PAVLINIC, S.; BUCKLEY, P.; BURNS, J. e T. WRIGHT. Computing in stereochemistry – 2D Or 3D representations? In **Research in Science Education - Past, Present, and Future**, Amsterdam: Springer Netherlands, 2007.

POULEUR, A.L. Atomic and Molecular Structure Models as a visual aid in the teaching of chemistry. **Journal Chemical Education**, 1932, v. 9, n. 2, p. 301-316.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MOREIRA, M. A. Desenvolvendo Habilidades Visuoespaciais: uso de software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica em química. **Experiências em Ensino de Ciências**, 2009, v. 4, n. 1, p. 65-78.

_____; SERRANO, A.; MARTINS, T.L.C. E SOUZA, B.C. Uso de um software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica: um estudo de caso baseado na teoria de mediação cognitiva. **Revista Electronica de Enseñanza de las Ciencias**, 2010, v. 9 (1), p.18 – 34.

REIGELUTH, C. M. Instructional design: What is it and why is it?. In C.M. Reigeluth (Ed.). **Instructional Designs Theories and Models: An Overview of their current status**. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.

SEABRA, R.; SANTOS, E. Proposta de desenvolvimento da habilidade de visualização espacial através de sistemas estereoscópicos. In: **4º CONGRESSO NACIONAL Y 1RO. INTERNACIONAL ROSÁRIO, Argentina**, 2004. Disponível em <http://www.academia.edu/826250/Proposta_de_Desenvolvimento_da_Habilidade_de_Visualiza%C3%A7%C3%A3o_Espacial_Atrav%C3%A9s_de_Sistemas_Estereosc%C3%B3picos>. Acessado em: 14 maio 2016

SANTOS, L. M. A.; TAROUCO, L. M. R. A Importância do Estudo da Teoria da Carga Cognitiva em uma Educação Tecnológica. **CINTED/UFRGS**, Porto Alegre, v. 5, nº 1, Julho, 2007.

SWELLER, J.; VAN MERRIËNBOER, J. J. G.; PAAS, F. Cognitive architecture and instructional design. **Educational Psychology Review**, 1998, v. 10, p. 251–295.

SZABO, G. N. Visualizing the Unseen, **Euroscience Open Forum**, 2004, p. 1-8.

TERUYA, L. C.; MARSON, G. A. Visualização no Ensino de Química: apontamentos para a pesquisa e desenvolvimento de recursos educacionais. **Química Nova**, 2013, v. 36, n. 4, p. 561-569.

_____.; ARROIO A.; MARSON, G. A. Trends in visualization in chemistry teaching. **Journal of Science Education**, 2014, v. 1, n. 15, p. 22-25.

THIEMANN, O.H. A Descoberta da Estrutura do DNA: de Mendeel a Watson e Crick. **Química Nova na Escola**, 2003, n. 17, p. 13-19. Disponível em <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/17-a04.pdf>, acessado em 16 Jul 2018.

VALVERDE, G. J. y VIZA, A. L. Una revisión histórica de los recursos didácticos audiovisuales e informáticos en la enseñanza de la química. **Rev. Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 2006, v.5, n. 1, p. 1-14.

WAI, J., LUBINSKI, D. e BENBOW, C. P. Spatial Ability for STEM Domains: Aligning Over 50 Years of Cumulative Psychological Knowledge Solidifies Its Importance. **Journal of Educational Psychology**, 2009, v. 101, n. 4, p. 817–835.

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**, 2000, v.38, n. 7, p. 821-842.

_____.; SHAH, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. **Science Education**, 2004, v. 88, n. 3, p. 465-492

Anexos

Anexo A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Concordo em participar, como voluntário(a), da pesquisa intitulada “Desenvolvimento de uma metodologia para caracterização da resolução de problemas envolvendo representações visuais da estrutura tridimensional de moléculas”, que tem como responsável Claudia Ayres, aluna de doutoramento da Universidade de São Paulo, orientada pelo Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson, os quais podem ser contatados pelo e-mail claudia.ayres7@gmail.com / gamarson@iq.usp.br ou telefone (11) 30913845. Minha participação consistirá em resolver problemas utilizando o instrumento desenvolvido nesta pesquisa e responder questionários. Estou ciente de que este estudo tem finalidade de pesquisa e que os dados obtidos serão utilizados exclusivamente com fins acadêmicos, e somente serão divulgados seguindo diretrizes éticas, com a preservação do anonimato dos participantes, assegurando, assim, minha privacidade. Mantenho a prerrogativa de abandonar a minha participação na pesquisa a qualquer momento e estou ciente de que a participação não é remunerada.

Nome:

Assinatura:

São Paulo, _____ de _____ de 20__.

Anexo B - Teste de Ishihara

Para cada imagem digite o número que você pode ver. Se você não vê nada, deixe a resposta em branco.

Telas do instrumento para registro das habilidades de interpretação de representações moleculares

INSTRUÇÃO:

Cada questão apresenta a figura tridimensional de uma molécula.

Abaixo dela, há quatro figuras (A, B, C e D) bidimensionais de moléculas.

Escolha a figura bidimensional que representa exatamente a mesma molécula da figura tridimensional.

Legenda:

Esferas pretas = Carbono (C)

Esferas brancas = Hidrogênio (H)

Esferas vermelhas = Oxigênio (O)

Esferas azuis = Nitrogênio (N)

Esferas verdes = Cloro (Cl)

Esferas marrons = Bromo (Br)

A

B

C

D

A

B

C

D

A

B

C

D

Anexo D - Teste PVRot (*Purdue Visualization Rotation Test*)

Nome: _____

Não efetue marcas nas páginas deste teste
Utilize a folha de respostas

Orientações

Este teste consiste em 20 questões construídas de modo a avaliar como você pode visualizar rotações em objetos tridimensionais. Um exemplo de questão contida neste teste é mostrado a seguir.

Para cada questão você deveria:

- I. Estudar como o objeto mostrado no topo é girado
- II. Imaginar como o objeto mostrado na linha seguinte se pareceria quando girado exatamente da mesma maneira
- III. Selecionar a partir das cinco opções dadas (A, B, C, D ou E) uma que se pareceria com o objeto quando girado na posição correta

Qual a resposta correta para o exemplo desta página?

As respostas A, B, C e E estão erradas. Somente a representação D se parece com o objeto após ter sido girado

Lembre-se que para cada questão há somente uma resposta correta.

Veja agora o exemplo mostrado a seguir e tente selecionar a representação que se pareceria com o objeto na posição correta quando uma dada rotação é aplicada.

Não efetue marcas neste caderno. Tenha certeza que as suas respostas estejam na folha em separado

VOCÊ SERÁ AVISADO QUANDO PODERÁ INICIAR

Note que a rotação deste exemplo é mais complexa. A resposta correta é a B

5 é girado para

assim como é girado para

A B C D E

6 é girado para

assim como é girado para

A B C D E

7 é girado para

assim como é girado para

A B C D E

8 é girado para

assim como é girado para

A B C D E

9 é girado para

assim como é girado para

A B C D E

10 é girado para

assim como é girado para

A B C D E

11 é girado para

assim como é girado para

A B C D E

12 é girado para

assim como é girado para

A B C D E

13 **é girado para**

15 **é girado para**

14 **é girado para**

16 **é girado para**

assim como **é girado para**

A B C D E

assim como **é girado para**

A B C D E

assim como **é girado para**

A B C D E

assim como **é girado para**

A B C D E

17 **é girado para**

19 **é girado para**

18 **é girado para**

20 **é girado para**

assim como **é girado para**

A B C D E

assim como **é girado para**

A B C D E

assim como **é girado para**

A B C D E

assim como **é girado para**

A B C D E

Anexo E - Tela Inicial do Visualizador Molecular

Teste virtual de visualização 3D em JSmol Parte 1 de 3

[Instruções](#)[Teste](#)[Tabela](#)

- O objetivo é interagir com a molécula da direita para que fique o mais parecido possível com a molécula da esquerda.
- Essa interação é feita arrastando o mouse sobre a molécula da direita.
- Quando estiver pronto e quiser iniciar os testes, vá na aba "Teste", clique em "INÍCIO" e comece a interagir.
- Quando você achar que as duas moléculas estiverem próximas o suficiente, ou quando desistir, clique no botão "FIM!".
- Aqui está um exemplo de como funcionam os testes que você fará em breve.
- Em caso de problemas com o teste, certifique-se de que o provedor de internet sendo usado é o Firefox, e que de preferência esteja devidamente atualizado.

Fique à vontade para interagir como quiser com essa molécula e se acostumar com a interface.

Anexo F - Questionário sobre o esforço mental

INSTRUÇÃO: Julgue as afirmações considerando a seguinte escala numérica:

1 = “muito, muito baixo esforço mental”; 9 = “muito, muito alto esforço mental”

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quanto foi o seu esforço para resolver a molécula de treinamento?
1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quanto foi o seu esforço para resolver o primeiro problema (molécula colorida)?
1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quanto foi o seu esforço para resolver o segundo problema (molécula com escala de cinza)?

Anexo G - Usabilidade

INSTRUÇÃO: Julgue as afirmações considerando a seguinte escala numérica:

1. Discordo totalmente - 5. Concordo totalmente.

1	2	3	4	5	As cores utilizadas nas moléculas tridimensionais foram adequadas.
1	2	3	4	5	Os átomos coloridos auxiliaram na resolução dos problemas.
1	2	3	4	5	A quantidade de cores utilizadas dificultou a resolução dos problemas.
1	2	3	4	5	As cores utilizadas nas moléculas tridimensionais foram apropriadas.
1	2	3	4	5	As cores auxiliam na resolução dos problemas
1	2	3	4	5	Foi difícil resolver os problemas sem as cores.
1	2	3	4	5	As cores dos átomos me ajudaram muita na resolução dos problemas.
1	2	3	4	5	As instruções para resolver os problemas foram claras.
1	2	3	4	5	As instruções foram apresentadas de maneira organizada.
1	2	3	4	5	As instruções foram úteis.
1	2	3	4	5	As instruções não foram bem elaboradas.
1	2	3	4	5	Foi difícil seguir as instruções.
1	2	3	4	5	O contraste da tela do computador foi apropriado.
1	2	3	4	5	O contraste da tela do computador dificultou a resolução dos problemas.
1	2	3	4	5	A tela do computador funcionou adequadamente.
1	2	3	4	5	Não tive um bom desempenho na resolução dos problemas por causa do contraste da tela do computador.
1	2	3	4	5	A tela do computador dificultou a resolução dos problemas
1	2	3	4	5	Os símbolos e desenhos estavam nítidos e visíveis.

Anexo H - Tabela com os indivíduos da amostra e os parâmetros da pesquisa

	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Faixa etária	18 a 24	18 a 24	menos de 18	18 a 24	18 a 24	18 a 24	25 a 34	18 a 24	18 a 24	menos de 18
	Curso de graduação:	Cursinho	Farmácia	Cursinho	Cursinho	Farmácia	Farmácia e Bioquímica	Cursinho	Farmácia e Bioquímica	Farmácia e Bioquímica	Cursinho
	nível	C	G	C	C	G	G	C	G	G	C
	visualização impressos	2	4	2	2	4	2	4	2	3	1
	visualização estaticos no pc	3	4	1	1	3	3	4	3	3	2
	visualização físicos	1	3	3	2	2	1	2	2	2	1
	visualização interativos no pc	1	3	1	0	3	2	3	1	2	1
	manipulação físicos	1	1	3	1	2	1	1	1	1	0
	manipulação não interativos	2	1	3	0	3	2	0	2	1	0
	Manipulação interativos	1	1	1	0	2	1	2	1	1	1
	uso para estudos	3	0	0	0	2	2	2	1	3	0
	Sexo	F	M	F	F	M	F	F	F	M	M
	Pontos teste moléculas	5	5	4	4	5	5	5	5	5	3

	PVRoT	12	12	9	10	16	8	7	12	15	13
Intro	tTotal	25	30,5	75,5	28	26,5	14	122	33,5	65	104,5
	tResolução	9,5	5,5	31	6	4	4	47,5	20	17,5	16,5
Cor	tTotal	43,5	26,5	72,5	96,5	47	99	22,5	56,5	48,5	67
	tResolução	26,5	15	55,5	37,5	10	32,5	5	10	4	30,5
Cinza	tTotal	42,5	29	54	101	46,5	34	140	131,5	28	141
	tResolução	7,5	16	19,5	46,5	8,5	22,5	78,5	108,5	10,5	5,5

Intro	tTotal	77	59,5	75	39	117	23	155	38	187,5	168
	tResolução	12	45,5	54	5,5	76,5	5	62,5	15,5	47	31
Cor	tTotal	106	88	44,5	62	117	43	107	50	98,5	59,5
	tResolução	29	63	22,5	3	31	6,5	89,5	23,5	59	5,5
Cinza	tTotal	149	110	35	163	109	37	50	78	146	48
	tResolução	99,5	28,5	18	45,5	26,5	9	28,5	11	96,5	30,5

	n	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Faixa etária	25 a 34	18 a 24	18 a 24	18 a 24	18 a 24	18 a 24	18 a 24	18 a 24	18 a 24	18 a 24
	Curso de graduação:	Cursinho	Cursinho	Química	Licenciatura em Química	Química	Química	Química	Química	Ciências Moleculares	Química
	nível	C	C	G	G	G	G	G	G	G	G
	visualização impressos	2	3	4	3	4	4	4	4	3	4
	visualização estaticos no pc	1	2	3	3	2	3	3	4	2	4
	visualização físicos	1	3	2	3	1	2	3	4	2	3
	visualização interativos no pc	0	1	2	1	2	1	2	4	1	3
	manipulação físicos	1	1	0	2	1	1	3	4	2	2
	manipulação não interativos	1	1	2	1	0	2	1	1	1	0
	manipulação interativos	0	0	1	1	2	1	2	4	2	1
	uso para estudos	0	0	0	0	2	0	2	0	2	3
	Sexo	F	F	F	F	F	M	F	F	F	F
	Pontos teste moléculas	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5
	PVRoT	12	2	13	8	13	19	20	16	20	15
Intro	tTotal	45	81,5	61	38	38,5	42,5	23	19,5	81	77,5

	tResolução	23,5	52	22	7,5	26,5	13	8	12	9	7,5
Cor	tTotal	87	67	21	59	29	39,5	17	27,5	35	34
	tResolução	7	15	10	24,5	11,5	12,5	7,5	20	5,5	23
Cinza	tTotal	112,5	94	62,5	117	33	74,5	29,5	45,5	48	34
	tResolução	58,5	45	37	112	8,5	28,5	16	14	16	31

	n	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	Faixa etária	18 a 24	25 a 34	18 a 24	18 a 24	18 a 24	18 a 24	18 a 24	18 a 24	18 a 24	25 a 34
	Curso de graduação:	Química	Química Ambiental	Química	Química	Química	Química	Química	Química	Química	Química
	nível	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
	visualização impressos	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4
	visualização estaticos no pc	2	3	4	4	4	4	3	4	2	4
	visualização físicos	2	4	3	1	1	2	4	3	4	4
	visualização interativos no pc	1	3	3	1	1	1	3	1	2	4
	manipulação físicos	1	4	0	1	1	1	2	3	2	1
	manipulação não interativos	3	2	0	2	0	0	2	2	4	2
	manipulação interativos	0	2	0	0	1	0	3	1	2	4
	uso para estudos	0	1	3	0	0	2	0	2	2	1
	Sexo	M	M	M	F	F	F	M	M	M	M
	Pontos teste moléculas	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	PVRoT	17	17	19	11	12	16	16	17	16	12
Intro	tTotal	110	12,5	56	44	22,5	18,5	52	24	x	38

	tResolução	7,5	7	12	31	9,5	3,5	6,5	14,5	x	5,5
Cor	tTotal	107	41	76	30	40	28,5	91,5	27	49,5	31
	tResolução	23	15	33	18	29,5	5	5,5	5,5	9	19,5
Cinza	tTotal	85,5	20	31	79,5	91,5	16,5	116	30,5	192,5	11,5
	tResolução	20,5	10,5	9,5	57,5	51,5	8	16,5	17	62,5	4,5

Intro	tTotal	104,5	19	13	85	84,5	68,5	35	70,5	59	15,5
	tResolução	18,5	7	8	16,5	20,5	4	12,5	6	36,5	4,5
Cor	tTotal	51,5	50	45,5	52,5	62	95,5	39,5	52,5	118	46
	tResolução	26,5	9,5	15	34	10,5	25	27,5	30,5	48	4
Cinza	tTotal	89,5	57,5	37	224,5	68,5	44,5	43,5	116	60	52,5
	tResolução	10,5	7	16,5	117	50	28,5	13,5	93	26	47