

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

TESE DE DOUTORADO

**Investigando o Desenvolvimento do Processo de Abstração na Resolução de
Problemas de Geometria Molecular Mediada pela Realidade Aumentada**

Alex Eder da Rocha Mazzuco

Porto Alegre, RS, Brasil

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

ALEX EDER DA ROCHA MAZZUCO

Investigando o Desenvolvimento do Processo de Abstração na Resolução de Problemas de Geometria Molecular Mediada pela Realidade Aumentada

Proposta de Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação do Centro Interdisciplinar Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Informática na Educação.

Orientador: Prof. Dr. Eliseo Berni Reategui.

Coorientadora: Prof. Dra. Raquel Salcedo Gomes.

Linha de pesquisa: Ambientes Informatizados e Ensino a Distância.

Porto Alegre, RS, Brasil

2022

CIP - Catalogação na Publicação

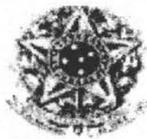
Mazzuco, Alex Eder da Rocha
Investigando o Desenvolvimento do Processo de
Abstração na Resolução de Problemas de Geometria
Molecular Mediada pela Realidade Aumentada / Alex Eder
da Rocha Mazzuco. -- 2022.
197 f.
Orientador: Eliseo Berni Reategui.

Coorientadora: Raquel Salcedo Gomes.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Centro de Estudos Interdisciplinares em
Novas Tecnologias na Educação, Programa de
Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto
Alegre, BR-RS, 2022.

1. Abstração. 2. Ensino de Química. 3. Geometria
Molecular. 4. Realidade Aumentada. 5. Processos de
Raciocínio. I. Berni Reategui, Eliseo, orient. II.
Salcedo Gomes, Raquel, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

**ATA SOBRE A DEFESA DE TESE DE DOUTORADO
ALEX EDER DA ROCHA MAZZUCO**

Às quatorze horas e trinta minutos do dia dezanove de dezembro de dois mil e vinte e dois, no endereço eletrônico <https://mconf.ufrgs.br/webconf/00126356> conforme a portaria 02 de 10/10/2022 da PROPG/UFRGS que regulamenta a modalidade híbrida ou a distância para as bancas de defesas de cursos stricto sensus, reuniu-se a Comissão de Avaliação, composta pelas Professoras Doutoras: Magda Bercht, Elisa Boff e Cláudia Smaniotto Barin para a análise da Defesa de Tese de Doutorado intitulada “Investigando o Desenvolvimento do Processo de Abstração na Resolução de Problemas de Geometria Molecular Mediada pela Realidade Aumentada” do doutorando de Pós – Graduação em Informática na Educação Alex Eder da Rocha Mazzuco sob a orientação do Prof. Dr. Eliseo Reategui e co-orientação da profa. Raquel Salcedo Gomes. A Banca, reunida, após a apresentação e arguição, emite o parecer abaixo assinalado.

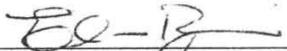
Considera a Tese Aprovada
() sem alterações;
(x) sem alterações, com voto de louvor;
() e recomenda que sejam efetuadas as reformulações e atendidas as sugestões contidas nos pareceres individuais dos membros da Banca;

Considera a Tese Reprovada.

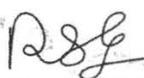
Considerações adicionais (a critério da Banca):

O trabalho traz contribuições que podem promover impacto no campo educacional, possibilitando a compreensão do processo cognitivo nas teorias de aprendizagem.

Documento assinado digitalmente
gov.br ELISEO BERNI REATEGUI
Data: 03/01/2023 11:07:35-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>


Prof. Dr. Eliseo Reategui
Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br RAQUEL SALCEDO GOMES
Data: 22/12/2022 06:38:17-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>


Prof.ª Dr.ª Raquel Salcedo Gomes
Co-orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br MAGDA BERCHT
Data: 05/01/2023 15:13:08-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>


Prof.ª Dr.ª Magda Bercht
PPGIE

Documento assinado digitalmente
gov.br ELISA BOFF
Data: 06/01/2023 13:43:54-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.ª Dr.ª Elisa Boff
UCS

Documento assinado digitalmente
gov.br CLAUDIA SMANIOTTO BARIN
Data: 06/01/2023 21:09:28-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.ª Dr.ª Cláudia Smaniotto Barin
UFSM

Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação - UFRGS
Av. Paulo Gama, 110 - Anexo III - 3º andar - CINTED/PPGIE
90040-060 - Porto Alegre/RS - Brasil

RESUMO

A aplicação de conhecimentos e habilidades voltados à resolução de problemas de geometria molecular é uma tarefa considerada complexa, porém, essencial para o processo de aprendizagem. Normalmente, os estudantes direcionam a atenção para as características superficiais dos problemas, demonstrando dificuldades em atribuir significados a símbolos e a operações submicroscópicas. Como agravante, muitas vezes, somente compreendem tarefas iguais às que realizaram em aula, sendo incapazes de propor soluções adequadas às tarefas diferentes das já praticadas. Dessa forma, para que os alunos tenham sucesso, devem ser competentes em extrair características relevantes, vincular semelhanças ou diferenças a problemas anteriormente vistos e realizar generalizações, enquanto resolvem problemas. Em suma, a aprendizagem de geometria molecular requer dos alunos a capacidade de reconhecer e gerar abstrações. Assim, esta tese investigou como ocorre o desenvolvimento do processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular, mediada pela tecnologia de realidade aumentada (RA). Metodologicamente, a pesquisa caracteriza-se como de abordagem mista. No que concerne à natureza, trata-se de pesquisa aplicada, de objetivo descritivo. Quanto aos procedimentos, baseia-se em um desenho quasi-experimental, no qual a principal estratégia de coleta de dados consistiu em entrevistas semiestruturadas, gravadas em áudio e vídeo e transcritas para posterior análise de conteúdo, com codificação a priori. Deste modo, ao resolver problemas, analisou-se o pensamento de cada participante, sendo definida a representação do conhecimento armazenado, empregada como um recurso, bem como a representação de nova instância, caracterizada pelo processo de resolução do problema em questão. A partir desse procedimento, definiu-se a ocorrência da abstração considerando o nível de abstração entre as representações, bem como o modo de abstração durante o uso das representações. Com a aplicação de um modelo de mapeamento de representação, caracterizou-se o raciocínio como sendo do tipo: baseado em regras, baseado em banco de memória, baseado em similaridade ou protótipo. Como resultado, descobriu-se indícios de que a RA atua no nível de abstração diferente com representação do conhecimento armazenado maior que a representação de nova instância e, ainda, que há influência do nível de abstração no acerto de resoluções de problemas. Encontraram-se, igualmente, evidências da existência de uma relação peculiar entre a RA e o modo de abstração parcial, e que esta tecnologia influencia na ocorrência dos tipos de raciocínio de protótipo e baseado em similaridade. Do mesmo modo, descobriu-se indicativos de que a capacidade de visualização molecular mental influi no acerto de resoluções de problemas de geometria molecular. Ao mesmo tempo que existem tendências da abstração, do processo de raciocínio e da capacidade de visualização influenciarem na média de notas.

Palavras-chave: Abstração; Ensino de Química; Geometria Molecular; Realidade Aumentada; Processos de Raciocínio.

ABSTRACT

The use of knowledge and acquired skills to solve molecular geometry problems is a complex task, however, essential for the learning process. Usually, students direct their attention to the superficial characteristics of the problems, demonstrating difficulties in assigning meaning to symbols and submicroscopic operations. As an aggravating factor, they often only understand tasks that are similar to those they perform in class, being unable to propose adequate solutions to tasks different from those already practiced. Thus, for students to succeed, they must be competent in extracting relevant features, linking similarities or differences to previously seen problems, and making generalizations while solving problems. In short, learning molecular geometry requires students to be able to recognize and generate abstractions. This thesis investigates the development of abstract representations when students solve molecular geometry problems using augmented reality (AR). The research has been conducted using a quali-quantitative approach, being characterized as an applied research work with a descriptive objective. Regarding its procedures, they were based on a quasi-experimental design, in which the main data collection strategy consisted of semi-structured interviews, recorded in audio and video and transcribed for later content analysis, with a priori coding. Students were asked to verbalize their problem solving strategies, and these interviews were analyzed to define the knowledge representation used, the representation of new instances and problem solving process. Based on this procedure, the occurrence of abstraction evidence was defined considering the level of abstraction between the representations, as well as the mode of abstraction during the use of the representations. With the use of a representation mapping model, the students' reasoning process was characterized as being based on rules, based on memory bank, based on similarity or prototype. As a result, evidence was found that AR operates at a different level of abstraction with a representation of stored knowledge greater than the representation of a new instance, and also that there is an influence of the level of abstraction on the success of problem resolutions. Evidence was also found regarding the existence of a particular relationship between AR and the partial abstraction mode, and that this technology influences the occurrence of prototype and similarity-based reasoning types. Likewise, evidence was found that the students' capacity for mental molecular visualization influences the correct resolution of molecular geometry problems. At the same time, there is a trend that the average grade of students be influenced by the level of abstraction and the reasoning process used, and the ability to visualize molecular structures.

Keywords: Abstraction; Chemistry Teaching; Molecular Geometry; Augmented Reality; Reasoning Processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O pensamento “multinível” é necessário na aprendizagem de Química, pois a disciplina compõe-se de diferentes níveis, cuja relação precisa ser ensinada.....	24
Figura 2 – Transição do problema para a solução requer (a) informação e (b) raciocínio.	26
Figura 3 – Níveis de abstração para abordagens computacionais em Química.	30
Figura 4 – Determinação da geometria molecular da NH ₃	31
Figura 5 – Geometria dos domínios eletrônicos e geometrias moleculares para moléculas com dois, três e quatro domínios eletrônicos circundando um átomo central.	32
Figura 6 – Representação do processo de resolução de problemas.....	35
Figura 7 – Proponha um mecanismo.....	36
Figura 8 – Representação simplificada do “continuum de virtualidade”.....	39
Figura 9 – Realidade aumentada utilizada no ensino do Sistema Solar.....	40
Figura 10 – Procedimentos metodológicos da pesquisa.	50
Figura 11 – Interface de RA do Sistema MMAR.	53
Figura 12 – Relações de entrevistas utilizadas para coleta de dados.	55
Figura 13 – Diferentes representações da substância H ₂ O.....	57
Figura 14 – Fases e etapas dos procedimentos.....	65
Figura 15 – Segmento de conteúdo utilizado na aula de geometria molecular no Sistema MMAR.	67
Figura 16 – Modelos de representação da molécula de cloreto de tionila (SOCl ₂).	70
Figura 17 – Moléculas utilizadas como exemplo.....	73
Figura 18 – Marcadores utilizados no experimento.....	76
Figura 19 – Processos de condução das aulas.....	78
Figura 20 – Aula tradicional.	79
Figura 21 – Alunos utilizando a interface de realidade aumentada.	81
Figura 22 – Estratégia de execução das entrevistas.	82
Figura 23 – Solução desenvolvida pelo aluno 15 para o problema 1A.....	132
Figura 24 – Solução desenvolvida pelo aluno 13 para o problema 2B.....	135
Figura 25 – Solução desenvolvida pelo aluno 02 para o problema 1B.....	138
Figura 26 – Solução desenvolvida pelo aluno 12 para o problema 2A.....	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espaço de possibilidade de mapeamento de representação de diferentes tipos de raciocínio com base em diferentes tipos de nível e de modos de abstração.....	37
Tabela 2 – Tópicos da Química em que a RA é aplicada.	42
Tabela 3 – Trabalhos relacionados à proposta de tese.	48
Tabela 4 – Modelo de mapeamento de representação com nível de abstração diferente e correspondência estrita, determinando o tipo de Raciocínio Baseado em Regras.....	59
Tabela 5 – Modelo de mapeamento de representação com nível de abstração aproximado/igual e correspondência estrita, determinando o tipo de Raciocínio Baseado em Banco de Memória.	60
Tabela 6 – Modelo de mapeamento de representação com nível de abstração aproximado/igual e correspondência parcial, determinando o tipo de Raciocínio Baseado em Similaridade.....	62
Tabela 7 – Modelo de mapeamento de representação com nível de abstração diferente e correspondência parcial, determinando o tipo de Raciocínio de Protótipo.....	64
Tabela 8 – Conjunto de moléculas disponíveis para integrar as aulas de geometria molecular.	68
Tabela 9 – Principais correções e/ou melhorias.	71
Tabela 10 – Moléculas utilizadas como exemplos e como problemas.	72
Tabela 11 – Moléculas utilizadas nas entrevistas.....	74
Tabela 12 – Configurações dos equipamentos utilizados na aula com RA.	75
Tabela 13 – Composição dos grupos amostrais.	77
Tabela 14 – Percorso pedagógico cumprido pelos alunos.	80
Tabela 15 – Categorias de tipos de informações adotadas como recurso de resolução.....	86
Tabela 16 – Categorias de formas utilizadas para descrever problemas.....	87
Tabela 17 – Níveis de abstração.....	90
Tabela 18 – Ocorrências dos níveis de abstração.....	101
Tabela 19 – Níveis de abstração em uma perspectiva geral.....	104
Tabela 20 – Formas como as representações foram parcialmente ou estritamente combinadas.	105
Tabela 21 – Modo de abstração.....	107
Tabela 22 – Apresentação quantitativa dos modos de abstração.	119
Tabela 23 – Apresentação quantitativa total dos modos de abstração.	120

Tabela 24 – Apresentação quantitativa dos modos de abstração.	121
Tabela 25 – Modos de abstração em uma perspectiva geral.	123
Tabela 26 – Tipos de raciocínio segmentados por aula.	142
Tabela 27 – Tipos de raciocínio em uma perspectiva geral.	145
Tabela 28 - Compilação dos resultados.....	151
Tabela 29 - Associações entre nível de abstração e acertos em resoluções.	152
Tabela 30 - Total de associações entre nível de abstração e acertos em resoluções.	154
Tabela 31 - Associações entre visualização molecular mental e acertos em resoluções.	156
Tabela 32 - Perspectiva geral de associações entre visualização molecular e acertos em resoluções.	158
Tabela 33 - Compilação dos resultados relacionados à abstração, raciocínio, capacidade de visualização e média de notas.	161
Tabela 34 - Compilação geral dos resultados relacionados à abstração, raciocínio, capacidade de visualização e média de notas.....	162

LISTA DE SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
CEP	Comitê de Ética na Pesquisa
DDC	<i>Dewey Decimal Classification</i>
glTF	<i>GL Transmission Format</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HD	<i>Hard Disk</i>
HTTPS	<i>Hyper Text Transfer Protocol Secure</i>
IFFar	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
MMAR	<i>System of Molecular Modeling with Augmented Reality</i>
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PISA	Programa Internacional de Avaliação de Alunos
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
RA	Realidade Aumentada
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RCA	Representação do Conhecimento Armazenado
RM	Realidade Mista
RNI	Representação de Nova Instância
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
RV	Realidade Virtual
SDF	<i>Structure Data File</i>
SSL	<i>Secure Sockets Layer</i>
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
VA	Virtualidade Aumentada
VSEPR	<i>Valence Shell Electron-Pair Repulsion</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Questão de Pesquisa	17
1.2 Objetivo Geral	17
1.2.1 Objetivos Específicos.....	17
1.3 Estrutura da Proposta de Tese	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Resolução de Problemas	19
2.1.1 Caracterização de Problema na Aprendizagem de Química.....	21
2.1.2 Resolução de Problemas na Aprendizagem de Química.....	23
2.2 Abstração	27
2.2.1 A Abstração na Aprendizagem em Química.....	29
2.2.2 Mapeamento de Representações para Caracterizar a Abstração.....	33
2.3 Realidade Aumentada	38
2.3.1 A Realidade Aumentada como Apoio à Aprendizagem em Química.....	41
2.3.2 Revisão Sistemática de Literatura.....	44
2.4 Trabalhos Relacionados	45
2.4.1 Trabalhos Relacionados Sobre Abstração na Educação.....	46
2.4.2 Trabalhos Relacionados Sobre RA na Resolução de Problemas em Química.....	47
2.4.3 Aspectos Originais da Pesquisa.....	48
3 METODOLOGIA	50
3.1 Público-Alvo e Contexto	51
3.2 Sistema MMAR	52
3.3 Instrumentos de Coleta de Dados	54
3.4 Técnicas de Análise de Dados	55
3.5 Procedimentos	64
3.5.1 Fase A – Etapa 1: Configuração.....	65
3.5.2 Fase A – Etapa 2: Desenvolvimento.....	66
3.5.3 Fase A – Etapa 3: Avaliação.....	70
3.5.4 Fase B – Etapa 1: Preparação.....	72
3.5.5 Fase B – Etapa 2: Condução das Aulas.....	76
4 RESULTADOS	85

4.1 Dados Coletados e o Processo de Extração e Análise.....	85
4.2 Investigação do Processo de Abstração.....	88
4.2.1 Nível de Abstração.....	89
4.2.2 Modo de Abstração.....	105
4.2.3 Discussão.....	123
4.3 Identificação dos Processos de Raciocínio.....	130
4.3.1 Raciocínio Baseado em Regras.....	131
4.3.2 Raciocínio Baseado em Banco de Memória.....	133
4.3.3 Raciocínio Baseado em Similaridade.....	136
4.3.4 Raciocínio de Protótipo.....	139
4.3.5 Análise Quantitativa.....	142
4.3.6 Discussão.....	145
4.4 Associações entre Abstração, Processos de Raciocínio e Capacidade de Visualização Molecular Mental.....	150
4.4.1 Observação da Influência do Nível de Abstração no Acerto de Resoluções de Problemas.....	151
4.4.2 Observação da Influência da Capacidade de Visualização Molecular Mental no Acerto de Resoluções de Problemas.....	155
4.4.3 Tendências da Abstração, do Processo de Raciocínio e da Capacidade de Visualização Molecular Mental na Média de Notas.....	159
5 CONCLUSÃO.....	166
5.1 Limitações.....	169
5.2 Contribuições.....	170
5.3 Trabalhos Futuros.....	171
REFERÊNCIAS.....	172
APÊNDICE I - TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	186
APÊNDICE II - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DOS RESPONSÁVEIS.....	188
APÊNDICE III - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	191
APÊNDICE IV - ATIVIDADE DE APOIO À ENTREVISTA.....	193
APÊNDICE V - ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA.....	194
APÊNDICE VI – OCORRÊNCIAS DE CADA TIPO DE RACIOCÍNIO CONSIDERANDO PROBLEMAS “1” E “2” (SEM AGRUPAMENTO).....	195

APÊNDICE VI – RESULTADOS DA ATIVIDADE DE APOIO À ENTREVISTA.... 196

1 INTRODUÇÃO

Ao analisar a educação brasileira contemporânea, considerando seus múltiplos aspectos e complexidade de contextos, converge-se para um cenário ainda frágil e falho. Isso é evidenciado, por exemplo, no último Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA), referente ao ano de 2018, divulgado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), em que o Brasil registrou a 57ª colocação dentre as 79 nações avaliadas, sobressaindo-se por apresentar inúmeros pontos desfavoráveis e preocupantes. Esses pontos podem ser percebidos quando são abordados elementos como o número de dispositivos digitais, a desigualdade entre escolas públicas e privadas, bem como a diferença entre regiões, além do alto índice de reprovação e evasão presentes no sistema escolar.

De acordo com o relatório Políticas Eficazes, Escolas de Sucesso (OECD, 2020), que analisa escolas e sistemas escolares e sua relação com os resultados da educação, com base nos resultados do PISA, em relação aos dispositivos digitais, no Brasil, há em média um computador para cada quatro estudantes de 15 anos. Essa situação coloca o país em penúltimo lugar em um ranking de 79 países e regiões. O Brasil também apresenta a maior desigualdade entre os sistemas de ensino, sendo que os alunos de escolas privadas estão 102 pontos à frente dos estudantes de escolas públicas e, como agravante, 85% dos alunos estão matriculados em instituições de ensino públicas. Já em relação ao índice de reprovação, o país possui o 4º maior índice, revelando, que 34,1% dos estudantes de 15 anos repetiram de série ao menos uma vez.

Possivelmente esses fatores estão fortemente relacionados com os resultados atingidos quando a avaliação refere-se às ciências. Segundo a OECD (2019), nenhum estudante alcançou o maior nível de proficiência na área de ciências, sendo que 55% sequer atingiram o nível básico. Dessa forma, quando são consideradas competências em ciências, a OECD descreve um conjunto de capacidades limitadas que compõem o perfil dos alunos brasileiros de 15 anos. Dentre essas, inclui-se a capacidade de realizarem, somente com apoio, investigações científicas estruturadas com, no máximo, duas variáveis e; também, de identificar relações causais ou correlações simples e interpretar dados em gráficos e em imagens que requerem um baixo nível de demanda cognitiva.

Quando uma análise mais detalhada é direcionada a esse contexto, percebe-se que essas capacidades reduzidas e escassas, inerentes ao perfil dos alunos, são propagadas para os principais campos da Ciência da Terra e do Espaço, da Física, da Biologia e da Química, que compõem a avaliação de conhecimentos sobre ciências. No caso da Química, o mau

desempenho dos estudantes, representado pelos números do PISA, pode significar a materialização das dificuldades estruturais e metodológicas, herdadas dos primeiros modelos educacionais, onde o importante era saber o máximo de conceitos, seguindo, conforme Fernandes *et al.* (2012), um ritmo da aprendizagem teórica, baseada apenas na memorização e reprodução de termos e definições, sem correlação explícita e demonstração empírica e experimental dos fenômenos sob estudo. Assim, o ensino de Química no Brasil torna-se deficiente, também, por não haver um processo de ensino contextualizado (DIAS, 2021).

Além disso, questões pontuais, igualmente prejudicam o processo de ensino e aprendizagem de Química. De acordo com Busquets, Silva e Larrosa (2016), essas questões envolvem abordagens centradas no professor e no ensino, grande dependência de esforço de memorização, ausência de motivação e estratégias de aprendizagem por parte dos estudantes. Os autores também enfatizam que todos esses fatores originam-se na inexistência de consciência dos procedimentos de construção do conhecimento a partir da estrutura biológico-cognitiva da espécie humana e da historicidade de cada indivíduo.

Somando-se a esse conjunto de adversidades, tem-se uma perspectiva dirigida às dificuldades relacionadas às peculiaridades da disciplina de Química e de sua aprendizagem. Dentre elas, se encontra a necessidade de os estudantes compreenderem assuntos envolvendo um pensamento multinível (JOHNSTONE, 1991). Esta concepção implica na capacidade de os alunos trabalharem com o ensino que oscila entre os fenômenos observados no nível macroscópico e os modelos teóricos formais no nível submicroscópico, recorrendo ao nível simbólico e ao raciocínio abstrato, por meio de vocabulário técnico, com fórmulas, equações e outros formalismos (TABER, 2013). Embora existam questões que são específicas de cada tópico da disciplina, certamente, essas condições podem ser irradiadas para os mais heterogêneos assuntos abordados em Química, incluindo suas práticas, seus procedimentos, a observação de seus fenômenos e a resolução de seus problemas.

A resolução de problemas desempenha uma função crucial para a aprendizagem, constituindo currículos de Química tanto em escolas como em universidades. Segundo Tsapalis (2021, p. 1), “a resolução de problemas é uma habilidade onipresente na prática da Química, contribuindo para a síntese, teoria, análise e caracterização de compostos, e continua sendo um objetivo importante na educação Química”. No entanto, frequentemente, os estudantes encontram dificuldades na resolução de problemas, pois não possuem a capacidade de relacionar novos problemas com suas experiências prévias e, também, por não reconhecerem as etapas e as ações apropriadas a serem empreendidas para resolvê-los (SWELLER, 1988). Assim, muitas vezes, empenham-se na tentativa de resolver problemas, porém, deparam-se com

certas barreiras, como a necessidade de que sejam capazes de extrair características relevantes, mapear semelhanças com problemas vistos anteriormente, efetuar inferências e realizar abstrações.

A abstração encontra-se na base de disciplinas científicas, como Matemática, Física e Química (TAUB, ARMONI e BEN-ARI, 2014), o que torna a capacidade de abstração dos estudantes um aspecto fundamental no processo de resolução de seus problemas (KOPPELMAN e VAN DIJK 2010; STATTER e ARMONI, 2020). Embora as representações externas concretas possam ser úteis na solução de problemas, julgados como sendo simples, de acordo com Rich e Yadav (2020), as abstrações são essenciais quando são considerados problemas suficientemente complexos. Os tipos de problemas encontrados em assuntos pertencentes a uma disciplina em particular evoluem daqueles que exigem a compreensão de algumas leis ou princípios, bem como o domínio de abordagens comuns para problemas mais complexos. Estes, por sua vez, obrigam que os alunos abstraíam o problema em questão em um ou mais problemas generalizados, ou classes de problemas, compreendam as técnicas e os resultados do problema generalizado e, então, apliquem-nos ao problema de origem (SEVIAN *et al.*, 2015).

Ainda, em relação à abstração, estudos mostram que especialistas e novatos diferem em suas habilidades de abstração (TAUB, ARMONI e BEN-ARI, 2014). É perceptível que os alunos se deparam com a necessidade de abstração em inúmeros contextos, enquanto aprendem diferentes conteúdos e suas técnicas de resolução de problemas. No entanto, de acordo com Muller e Haberman (2008), os novatos na disciplina apresentam maiores dificuldades em utilizar processos e recursos de abstração e, dessa forma, necessitam desenvolver proficiência na identificação de quais tarefas devem ser realizadas ao lidar com diferentes níveis de abstração, durante os vários estágios da resolução de um problema. Assim, o adequado desenvolvimento da capacidade de abstração por estudantes, principalmente, por novatos, pode aumentar suas habilidades de resolução de problemas. Observa-se, também, que a capacidade de abstração (competência em usar e gerar abstrações) pode ser desenvolvida por meio de comparações, generalizações e aprendizagem baseada em casos (SON, SMITH e GOLDSTONE, 2008).

Na Química moderna, considerar a capacidade de abstração dos alunos na resolução de problemas tornou-se crucial, visto que, para explicar fenômenos químicos é necessário compreender extensos modelos teóricos baseados na natureza de entidades conjecturadas em uma escala muito menor do que a observada por meio de um microscópio óptico (TABER, 2013). Esses paradigmas envolvem assuntos considerados não simplórios, como reações

químicas, eletroquímica, termoquímica e quiralidade molecular. Além desses tópicos, a base explicativa de grande parte da Química que pode ser ensinada na escola refere-se a íons e elétrons, bem como seus orbitais e níveis de energia associados, tornando, assim, segundo Johnson (2005), amplamente estabelecido que tais conceitos teóricos e abstratos são desafiadores para muitos alunos.

Nesse cenário em que conceitos abstratos configuram-se como pré-requisitos ao avanço do conhecimento sobre a disciplina e tornam-se grandes obstáculos para os estudantes, percebe-se que trabalhos envolvendo uma gama de recursos tecnológicos estão sendo desenvolvidos para apoiar a aprendizagem em diferentes áreas da Química. Dentre estes recursos, destaca-se nesta pesquisa o crescente interesse pela tecnologia de realidade aumentada (RA) (ZHANG *et al.*, 2020).

Essa encontrou na Química um terreno fértil para sua aplicação e disseminação, pois permite a representação visual e, portanto, a concretização de conceitos abstratos que provocam grandes desafios para os alunos na compreensão do mundo químico microscópico e macroscópico (CAI, WANG e CHIANG, 2014). Assim, a RA está sendo utilizada como um importante recurso tecnológico para auxiliar na resolução de problemas em diferentes domínios da Química, o que tem sido evidenciado por muitas pesquisas recentes (EWAIS e TROYER, 2019; WOŹNIAK *et al.*, 2020).

Pelas propriedades e composições dos elementos abordados na Química serem conceitos cruciais no seu aprendizado (CHANG e CHUNG, 2016), a visualização de modelos tridimensionais desempenha uma função expressiva neste processo (AW *et al.*, 2020). Esses modelos são essenciais para a compreensão e resolução de problemas de diversos assuntos, como grupos funcionais, isomeria e geometria molecular. São responsáveis por representarem processos químicos a nível atômico, inacessíveis à experiência sensorial, que costumam ser difíceis de entender e usar, pois demandam grande capacidade cognitiva e espacial, bem como habilidade de abstração (FREVERT e DI FUCCIA, 2019). Nesse sentido, a RA tem se mostrado uma ferramenta significativa para o ensino de Química, principalmente, por proporcionar mediação necessária ao desenvolvimento do raciocínio abstrato dos alunos (VIRATA e CASTRO, 2019), na resolução de problemas.

No entanto, não há ainda estudos o suficiente, especialmente no Brasil, demonstrando como a realidade aumentada pode atuar como facilitadora/mediadora do processo de abstração no contexto da resolução de problemas em aprendizagem de Química. Observam-se estudos que buscam analisar a abstração na resolução de problemas em Química de maneira convencional, sem o uso de recursos tecnológicos mais avançados, ou seja, resolução utilizando

apenas lápis e papel (SEVIAN *et al.*, 2015; WEINRICH e SEVIAN, 2017). Dessa forma, no momento em que o processo de abstração é investigado considerando a realidade aumentada como um recurso mediador na resolução de problemas, especificamente, de geometria molecular, percebe-se uma lacuna de conhecimento, necessitando de maior exploração.

1.1 Questão de Pesquisa

Diante da problemática, motivação e justificativa apresentadas, busca-se investigar a seguinte questão de pesquisa:

Como se desenvolve o processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular assistida pela realidade aumentada?

1.2 Objetivo Geral

Investigar como ocorre o desenvolvimento do processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular assistida pela tecnologia de realidade aumentada, a fim de contribuir para o avanço do conhecimento sobre o uso deste tipo de tecnologia como mediadora na aprendizagem de Química.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Identificar na literatura as principais abordagens educacionais relacionadas ao uso da RA na Química;
- Elaborar aulas em um sistema Web que emprega a tecnologia de RA, contemplando o planejamento de materiais didáticos e a criação de modelos moleculares tridimensionais (3D);
- Examinar como se dá o processo de abstração dos estudantes ao resolverem problemas de Geometria molecular com apoio da realidade aumentada;
- Identificar os processos de raciocínio usados pelos alunos na resolução de problemas;
- Reconhecer a ocorrência de padrões entre aspectos como nível de abstração, modo de abstração, processo de raciocínio, média de notas e acertos na resolução de problemas.

O cenário educacional relacionado à Química no Brasil é caracterizado pelas heranças de um ensino descontextualizado, baseado na reprodução superficial, agravado por aspectos como o reduzido investimento tecnológico, metodologias de ensino centradas no professor, grandes demandas de memorização mecânica e ausência de motivação. Por outro lado, somam-se a esse conjunto de adversidades as dificuldades inerentes à disciplina de Química, como a necessidade de trabalhar com variados conceitos e eventos abstratos, na resolução de problemas. No entanto, pela realidade aumentada permitir a concretização visual de conceitos abstratos, por meio de interações com modelos 3D, é possível que ela contribua tanto para a compreensão quanto para o desenvolvimento do processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular. Viabilizará, dessa forma, que materiais e metodologias educacionais mais adequados sejam elaborados, podendo resultar na evolução da capacidade de abstração dos alunos e, conseqüentemente, no aumento de seus desempenhos no processo de aprendizagem de Química.

1.3 Estrutura da Proposta de Tese

Esta Proposta de Tese está organizada em cinco capítulos. O Capítulo 1 refere-se à **Introdução**, que apresenta a problemática em que o estudo se insere, envolvendo a construção do problema de pesquisa, sua motivação, justificativa, objetivos e estrutura. O Capítulo 2 diz respeito ao **Referencial Teórico**, que contextualiza o estudo da literatura, e a identificação dos Trabalhos Relacionados, expondo o diferencial desta pesquisa. Posteriormente, o Capítulo 3 detalha a **Metodologia de Pesquisa**, com sua caracterização e delineamento, detalhando público-alvo, contexto, período, procedimentos, instrumentos e técnicas de análise de dados. O Capítulo 4 expõe os **Resultados** e, por fim, o Capítulo 5 apresenta a **Conclusão**.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura referente aos assuntos discutidos neste estudo. Por se tratar de uma pesquisa interdisciplinar, existem três eixos fundamentais, o primeiro direcionado à resolução de problemas, o segundo abordando a abstração, ambos incluindo uma perspectiva educacional, e o terceiro voltado à tecnologia de realidade aumentada, abrangendo sua aplicação na Química.

Para permitir que os leitores se orientem em uma sequência conceitual lógica, optou-se por iniciar com o eixo condizente à resolução de problemas, seguido da abstração e, por fim, da realidade aumentada.

2.1 Resolução de Problemas

Uma situação problemática, de acordo com Lawson (2003), é aquela em que um indivíduo não tem um procedimento prontamente disponível que lhe possibilite atingir um objetivo desejado. Muitas vezes, embora um procedimento eficaz possa eventualmente ser desenvolvido ou lembrado, no momento do problema, tal procedimento talvez não esteja disponível. Portanto, o indivíduo deve iniciar o processo de desenvolver o procedimento ou acessar aquele que já foi desenvolvido. A esses processos é atribuída a nomenclatura de “resolução de problemas”. Na literatura, existem diferentes definições de resolução de problemas, podendo ser caracterizada como “o processo de mover-se em direção a uma meta quando o caminho para essa meta é incerto” (MARTINEZ, 1998, p. 605) ou; ainda, descrita conforme Lovett (2002, p. 1), como sendo “a análise e transformação das informações em direção a um objetivo específico”.

A pesquisa relacionada à resolução de problemas possui um histórico extenso e variado. Muitos dos psicólogos do início do século XX investigaram os processos mentais envolvidos durante o raciocínio complexo e a resolução de problemas (DUNBAR, 1998). Contudo, somente na década de 1970, Newell e Simon (1972) foram capazes de propor uma teoria abrangente de resolução de problemas, que continua a estar no centro da teorização contemporânea em relação à resolução de problemas. Essa teoria considera, basicamente, que a resolução de problemas consiste em uma busca em um espaço de problemas, envolvendo os conceitos de estados (inicial, intermediários e final) e de operadores (ações que transformam um estado em outro estado).

Isso significa que a resolução de problemas é um processo de vários estágios no qual um caminho é desenvolvido por meio do espaço do problema (CHI, 1983). Um espaço de problema é composto por um estado inicial, um estado de objetivo e um conjunto de operadores. Os operadores podem ser aplicados para movimentar o solucionador de problemas de um estado para outro. O conjunto completo de estados que podem ocorrer quando os operadores são aplicados é conhecido como espaço do problema. Nessa estrutura, o solucionador de problemas gera um caminho ou, um conjunto de movimentos, que visa levá-lo do estado inicial ao estado de objetivo (NEWELL e SIMON, 1972).

Claramente, essa abordagem de espaço-problema, como descrição da solução de problemas, precisa ser considerada em termos de estágios de atividade cognitiva. Muitas dessas descrições foram geradas durante um longo período de tempo, com o modelo representativo fornecido por Bransford e Stein (1984). O modelo introduziu, de acordo com Figland, Roberts e Blackburn (2020), uma abordagem para a resolução de problemas que engloba as ideias e princípios de vários teóricos, utilizando os seguintes processos: (i) identificar problemas e oportunidades, (ii) definir o problema, (iii) explorar abordagens alternativas para produzir um plano de ação, (iv) agir de acordo com o plano e (v) olhar para trás ou revisar o resultado.

Embora existam outras abordagens e teorias expressivas, como a de Charters (1924), Lancelot (1944) e Johnson (1989), as perspectivas de Newell e Simon (1972) e de Bransford e Stein (1984), por exemplo, têm servido a diferentes propósitos na pesquisa sobre resolução de problemas. A de Newell e Simon (1972) possui maior influência na condução de análises de simulações de comportamento de resolução de problemas. A de Bransford e Stein (1984) fornece uma estrutura descritiva mais geral, que foi particularmente influente na pesquisa educacional. Enquadrar a solução de problemas dessa maneira, envolvendo essas duas abordagens, revela o vínculo íntimo entre a solução de problemas e a aprendizagem (LAWSON, 2003).

Por outro lado, abordagens teóricas que propõem a distinção entre processos baseados em regras e processos baseados em similaridade na cognição também têm sido o foco de pesquisas relacionadas à resolução de problemas, como o modelo apresentado por Hahn e Chater (1998). O modelo permite identificar a forma como as representações das informações armazenadas são "combinadas" com a representação de um novo item (nova informação), buscando resolver problemas com a distinção entre regra e similaridade. Essas características tornam o modelo diferenciado, propiciando sua aplicabilidade na educação, oportunizando identificar e detalhar a forma como os estudantes raciocinam ao resolverem problemas (WEINRICH e SEVIAN, 2017).

Os processos de resolução de problemas desempenham um papel fundamental na educação, visto que as abordagens de ensino, geralmente, dependem da prática de resolução de problemas (TACONIS *et al.*, 2001). Dessa forma, inúmeras pesquisas estão sendo realizadas inserindo a investigação da resolução de problemas em diversas áreas do ensino. Permata, Kusmayadi e Fitriana (2018) analisaram e caracterizaram as habilidades de resolução de problemas matemáticos de alunos do ensino médio; Adanali (2018) examinou as habilidades de resolução de problemas de professores de Geografia com a aplicabilidade da produção documental digital; Sutarno *et al.* (2021) exploraram o nível de habilidades de resolução de problemas de física de alunos de graduação em Física e; Noelin e Ebele (2021) determinaram o efeito da estratégia de resolução de problemas no desempenho dos alunos do ensino médio em Química.

Na Química, a resolução de problemas é uma atividade complexa e multifacetada. Nesse cenário, diferentes abordagens e competências tornam-se relevantes para a resolução de problemas, como o conhecimento conceitual ou recursos, e a implantação disciplinada de processos de resolução de problemas, como a reorganização de problemas (TSAPARLIS, 2021). Assim, buscando um maior aprofundamento, as próximas seções são direcionadas à caracterização de problemas e à resolução de problemas na aprendizagem de Química.

2.1.1 Caracterização de Problema na Aprendizagem de Química

As dificuldades apresentadas pelos estudantes na compreensão de conceitos químicos, em especial, em assuntos relacionados à geometria molecular, sugerem a necessidade da utilização de diversificadas metodologias de ensino e aprendizagem, de forma que os estudantes possam vivenciar heterogêneas experiências de aprendizagem no âmbito acadêmico. Nesse sentido, métodos que utilizam problemas, também conhecidos como resolução de problemas ou solução de problemas (POZO e CRESPO, 2009), apresentam-se como uma alternativa interessante para integrar diferentes momentos, espaços e experiências de aprendizagem.

Pesquisadores, no entanto, procuram discutir o conceito de problema, principalmente, buscando evidenciar sua diferenciação do conceito de exercício. Para isso, consideram diversos aspectos como o contexto, a formulação, o número de soluções possíveis, as formas de abordagens requeridas e a complexidade das variáveis envolvidas no problema.

Dante (2009) afirma que há uma diferença entre exercício e problema: o primeiro, como o próprio nome já diz, tem o objetivo de exercitar, é uma prática que não exige do estudante um raciocínio sobre como agir para tal resolução, é um processo basicamente

mecânico; enquanto, um problema, por sua vez, exige do aluno iniciativa e criatividade, além do conhecimento de certas estratégias. No problema procura-se algo desconhecido, sendo que os exercícios se embasam na repetição e objetivam treinar competências de baixo nível cognitivo (RAMIREZ *et al.*, 1994). Já os problemas exigem diversificação e são direcionados ao desenvolvimento de competências (WATTS, 1991; NETO, 1998).

Segundo Lopes (1994), os conceitos de problemas e exercícios possuem certa distância, uma vez que estes são utilizados como uma situação em que o aluno dispõe de respostas, utilizando de mecanismos automatizados que levam à solução de forma imediata, priorizando a memorização de regras, fórmulas, equação e algoritmos. Diferentemente, um problema possui caráter investigativo, neste caso, os estudantes não possuem todas as ferramentas para a sua resolução, sendo necessária a realização de pesquisas e a criação de hipóteses (POZO e CRESPO, 2009).

Por outro lado, de acordo com Peduzzi (1997, p. 230):

[...] a distinção entre problema e exercício é bastante sutil, não devendo ser especificada em termos absolutos. Ela é função do indivíduo (de seus conhecimentos, da sua experiência etc.) e da tarefa que a ele se apresenta. Assim, enquanto uma determinada situação pode representar um problema genuíno para uma pessoa, para outra ela pode se constituir em um mero exercício.

Ou seja, Peduzzi (1997) revela que problemas e exercícios dependem da perspectiva de quem irá resolvê-los, pois o que é um problema para determinado indivíduo, pode ser um exercício para quem já conhece ou sabe como resolver sem necessitar fazer pesquisas ou investigações. Fica claro que a distinção entre problemas e os exercícios depende do contexto em que se encontra o aluno (POZO, 1998). Ramos (2019) exemplifica afirmando que para alguns, a utilização da Cromatografia para determinação de compostos presentes em diferentes colorações pode ser uma técnica habitual, um simples exercício do seu ofício. Para outros, contudo, como estudantes do nível médio ou técnico e até mesmo da graduação, pode se apresentar como um problema em que este vai precisar de conhecimentos, estratégias e tomada de decisões para poder resolvê-lo.

Ainda no sentido de aproximar os dois conceitos, percebe-se que pesquisadores, ao criarem classificações de problemas, utilizam a nomenclatura “exercício” para tipificar problemas, isto é, sugerindo que “exercício” pode ser considerado como um tipo de “problema”. Isso é evidenciado por Matos e Serrazina (1996), que classificam os problemas como: exercícios, problemas de palavras, problemas para descobrir, problemas da vida real e situações problemáticas. É também afirmado por Dante (1989), que apresenta a seguinte

categorização de problemas: exercício de reconhecimento, exercício de algoritmos, problemas padrão, problemas-processo ou heurísticos, problemas de aplicação e problemas de quebra-cabeça.

A partir das perspectivas discutidas em relação à caracterização de problema, para esta pesquisa será adotado o seguinte conceito de problema: uma situação que um sujeito quer ou precisa resolver e para a qual não dispõe de um caminho rápido e direto que leve à solução. A pesquisa situa-se, deste modo, alinhada à ideia de Echeverría e Pozo (1998, p. 16):

[...] uma situação somente pode ser concebida como um problema na medida em que exista um reconhecimento dela como tal, e na medida em que não disponhamos de procedimentos automáticos que nos permitam solucioná-los de forma mais ou menos imediata [...].

Considera-se, assim, que ao determinarem a geometria molecular de diferentes moléculas, os estudantes estão resolvendo problemas, pois são desprovidos de procedimentos automáticos e/ou formas imediatas para obterem soluções. Pelo contrário, é necessário que desenvolvam a capacidade de relacionar inúmeros conceitos, fundamentos e práticas, entre eles, a saber: níveis de energia (elétrons na camada de valência), ligações químicas, fórmula de Lewis, átomo central, nuvens eletrônicas, par de elétrons livres e geometrias moleculares.

2.1.2 Resolução de Problemas na Aprendizagem de Química

Diversos pesquisadores ao longo do tempo, como Johnstone (1991), Gabel (1993), Herron (1996) e Bodner (2003), contribuíram significativamente para o campo da pesquisa de educação em Química. No entanto, Johnstone (1991) destacou-se por sugerir que uma das razões pelas quais a Química caracteriza-se por ser de difícil compreensão para os alunos seria por envolver o que ele denominou de “pensamento multinível”. Ou seja, na Química, geralmente, são apresentadas aos alunos explicações que envolvem “o pensar”, exigindo um relacionamento simultâneo entre diferentes tipos de elementos, conceitos, tópicos e eventos (TALANQUER, 2011). Johnstone (2000) propôs que os níveis poderiam ser representados por vértices de um triângulo (Figura 1): (i) **macro**: o que é tangível, o que pode ser visto, tocado e cheirado; (ii) **submicroscópico**: o que somente pode ser observado por meio de recursos tecnológicos, com um microscópio e; (iii) **simbólico**: o que é representacional, como símbolos, fórmulas, equações, molaridade, manipulação matemática e gráficos.

Figura 1 – O pensamento “multinível” é necessário na aprendizagem de Química, pois a disciplina compõe-se de diferentes níveis, cuja relação precisa ser ensinada.



Fonte: Adaptado de Taber (2013).

A representação do pensamento em três níveis, proposta por Johnstone (1991), tem sido uma das ideias mais adotadas e aplicadas no campo da educação em Química. Possivelmente, por considerar que a natureza da Química é um assunto complexo, por envolver dois níveis distintos de conceitos formais, que precisam estar relacionados um ao outro e aos fenômenos observados (GILBERT e TREAGUST, 2009). Ainda, por essa relação ocorrer não apenas por meio de vocabulário técnico especializado, mas também por envolver uma gama de outras formas simbólicas de representação (TABER, 2013).

Seguindo a mesma abordagem, Mbajorgu e Reid (2006), ao discutirem fatores envolvendo o desenvolvimento do currículo de Química, concluíram que ela, assim como outras disciplinas científicas, opera em três níveis (ou domínios) de pensamento: o macro, o micro e o simbólico. O nível macro refere-se aos aspectos fenomenológicos da disciplina, como as transformações químicas observáveis sem o uso de instrumentos. O nível micro refere-se àquilo que só pode ser percebido com o auxílio de instrumentos ou que é abstraído por inferência de processos químicos. O simbólico refere-se a símbolos, modelos e equações representacionais. Segundo Mbajorgu e Reid (2006), o micro e o simbólico interpretam o macro, eles interagem e devem ser manipulados habilmente para que a compreensão ocorra.

Essa análise dos domínios do conhecimento químico sugere, no entanto, que o domínio do conhecimento simbólico não pode ser facilmente separado dos domínios macroscópico e submicroscópico, como um nível reduzido e imperceptível de conhecimento químico. Isso ocorre, uma vez que o domínio simbólico possui a função de representar e comunicar os conceitos e modelos desenvolvidos nos outros dois níveis. Conforme Taber (2013), o simbólico

é inerente ao modo como os estudantes pensam sobre a Química e; os processos de aprendizagem, ensino e aplicação da Química, geralmente, envolvem descrições “de” e “entre” os componentes da “linguagem” simbólica especializada, empregada para descrever ideias químicas nos níveis macroscópico e submicroscópico.

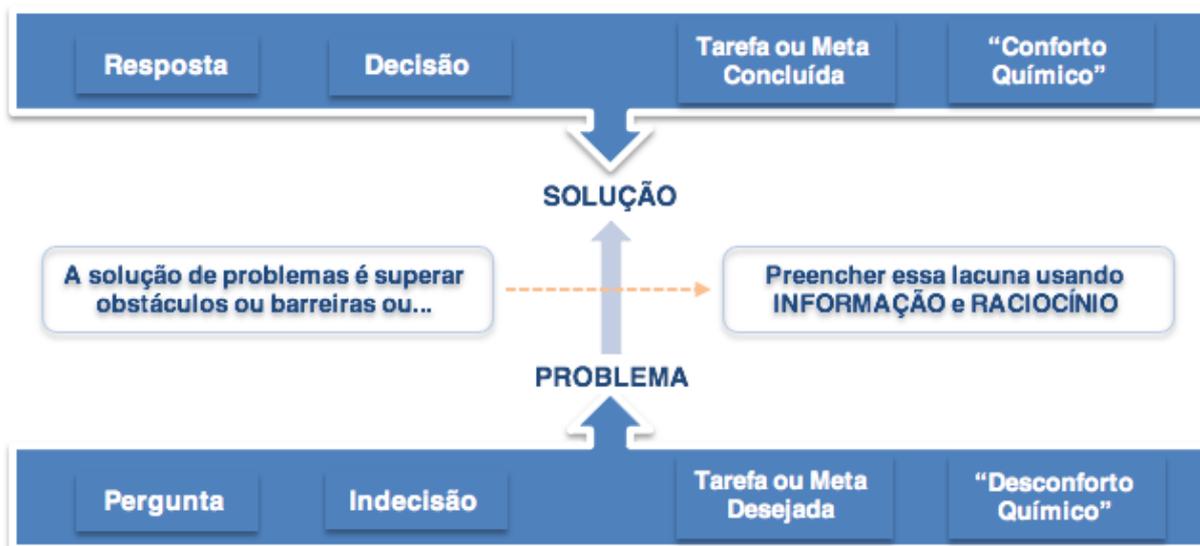
Dessa forma, a aprendizagem de Química ultrapassa a simples memorização de uma longa lista de eventos. Considerando uma visão mais profunda, os eventos da Química são organizados em torno de um conjunto altamente interconectado de conceitos, que os alunos precisam internalizar. No entanto, o objetivo principal dessa internalização é ser capaz de usar esses conceitos no contexto da resolução de problemas (HELIX, 2021).

Muitas vezes, de acordo com Frazer (1982), um aluno na escola ou no ensino superior ou, ainda, um químico profissional, se depara com: uma **pergunta** para a qual ele não sabe imediatamente a **resposta** e/ou; uma **indecisão** e não é capaz, de forma imediata, de tomar uma **decisão** e/ou; uma **tarefa** ou **meta** que ele não pode alcançar ou concluir imediatamente e/ou; uma sensação de “**desconforto químico**” (por exemplo, gerada por algum problema) e não pode se sentir, imediatamente, “**confortável quimicamente**”.

Todas essas situações, apresentadas na Figura 2, podem ser resumidas pela afirmação de que o indivíduo possui um problema para o qual não consegue encontrar uma solução imediata. Existe um obstáculo ou barreira no caminho do problema à solução. Em geral, a solução de problemas é preencher essa lacuna ou superar o obstáculo ou barreira. Em maior ou menor grau, todo problema requer que o indivíduo possua informações e raciocine com essas informações, a fim de progredir do estado de ter um problema para o estado de ter uma solução. Assim, a solução de problemas em Química, segundo Frazer (1982, p. 172), “é o processo de usar o conhecimento e as habilidades químicas para preencher a lacuna entre o problema e a solução”.

Investigando a relação entre a resolução de problemas e a compreensão de conceitos químicos, Nakhleh e Mitchell (1993) descobriram que o ensino convencional se concentra em “como obter a resposta correta” e não na compreensão da própria Química. Também foi observado que professores, geralmente, adotavam métodos de ensino padrão, que fornecem fórmulas numéricas em vez do tipo de instrução que exige o uso de julgamento e raciocínio. Kraft, Strickland e Bhattacharyya (2010) examinaram o raciocínio na resolução de problemas, por alunos de pós-graduação em Química Orgânica, em um estudo relacionado a problemas de síntese orgânica. Verificaram que cada aluno utilizou essencialmente um dos três tipos de raciocínio: raciocínio baseado em casos, raciocínio baseado em regras ou raciocínio baseado em modelos.

Figura 2 – Transição do problema para a solução requer (a) informação e (b) raciocínio.



Fonte: Adaptado de Frazer (1982).

Christian e Talanquer (2012) estudaram as abordagens de raciocínio usadas por alunos de graduação durante grupos de estudo relacionados à disciplina de Química Orgânica. Constataram que os alunos apresentaram quatro abordagens de raciocínio: (i) raciocínio baseado em modelo, referente a modelos com diferentes escalas (por exemplo, distância) e variáveis (por exemplo, composicional/estrutural, tempo), usadas conceitualmente ou quantitativamente, que possuem capacidade explicativa e preditiva; (ii) raciocínio baseado em caso, que se concentra em classificações, frequentemente interconectadas, de entidades e processos; (iii) raciocínio baseado em regras, fundamentado em padrões de comportamento induzidos a partir de experiências ou modelos mentais e; (iv) raciocínio baseado em símbolos, que utiliza a manipulação de símbolos reconhecíveis para tomar decisões, sem necessariamente associar esses símbolos a um significado mais profundo.

Inúmeras outras pesquisas têm se concentrado na análise de diferentes aspectos da solução de problemas em Química, na tentativa de identificar dificuldades e propor metodologias para evitá-las ou mitigá-las. Esses estudos incluem a exploração do processo de solução de problemas juntamente com uma abordagem de aprendizagem colaborativa (BROWNE e BLACKBURN, 1999); descrição de um sistema de análise multidimensional para construir, classificar e analisar problemas quantitativos (DORI e HAMEIRI, 2003); ou, ainda, a categorização de tipos de problemas e estudos sobre estratégias e abordagens durante a resolução de problemas (TACONIS *et al.*, 2001). Seguindo outro viés, Domin e Bodner (2012) buscaram investigar as diferenças nos tipos de representações construídas durante episódios de

resolução de problemas bem-sucedidos e mal sucedidos, encontrando na abstração um recurso indispensável para caracterizar as diferenças entre representações.

A Química é única na diversidade de seus problemas, exigindo que estudantes utilizem constantemente abstrações (TABER, 2013). A abstração é vista como um aspecto crucial para gerar solução para um problema que, por sua vez, implica, segundo Getzels e Csikszentmihalyi (2017), na ocorrência de alguma aprendizagem, quando um esquema de conhecimento existente foi modificado ou um novo esquema de conhecimento foi estabelecido.

2.2 Abstração

Abstração é um conceito complexo que possui inúmeras faces (BOERO *et al.*, 2002; DREYFUS, 1991), que em um contexto geral, tem atraído a atenção de muitos psicólogos, educadores, como Beth e Piaget (1966), Hershkowitz, Schwarz e Dreyfus (2001) e Mitchelmore e White (2007). Não há consenso a respeito de um significado único para abstração; no entanto, há um acordo de que a noção de abstração pode ser examinada de diferentes perspectivas, de que certos tipos de conceitos são mais abstratos do que outros, e de que a capacidade de abstrair é uma habilidade importante para a aprendizagem (HAZZAN e ZAZKIS, 2005).

Gray e Tall (2007) argumentam que o termo “abstrato” pode ser empregado como um: verbo, no sentido de “abstrair” (um processo); adjetivo, significando “ser abstrato” (uma propriedade) e; substantivo, sendo “um abstrato”, por exemplo, uma imagem em pintura (um conceito). Dessa forma, permite ter um significado multimodal como processo, propriedade ou conceito. Hiebert e Lefevre (1986) usaram o termo “abstração” para se referir ao grau em que uma unidade de conhecimento (ou relacionamento) está vinculada a um contexto específico. Afirmaram que a abstração aumenta à medida que o conhecimento se desliga de contextos específicos, de tal modo que o conhecimento se torna mais geral e sua aplicabilidade a diferentes situações é aumentada.

De forma sucinta, Levy e Bechtel (2013, p. 242) definiram abstração como “a omissão de detalhes”, pois uma descrição abstrata, em princípio, inclui apenas parte do que poderia ser dito sobre determinado assunto. Haberman e Muller (2008) especificaram que abstração é um processo de generalização que reduz o conteúdo de informações de um conceito, normalmente para reter apenas as informações que são relevantes para uma finalidade específica. Já White e Mitchelmore (2010) afirmam que a abstração é um processo, e o produto resultante, é baseado na generalização de vários atributos dos contextos subjacentes.

Diversas pesquisas buscaram compreender o processo de abstração, propondo modelos e categorizações. Barsalou (2005) propôs que a abstração é uma construção central na ciência cognitiva, assumindo, pelo menos, seis sentidos: abstração como conhecimento categórico; abstração como a capacidade comportamental de generalizar entre as instâncias; abstração como representação resumida; abstração como representação esquemática; abstração como representação flexível e; abstração como conceitos abstratos. Piaget (2001) introduziu três tipos de abstração, a saber, abstração empírica, abstração pseudo-empírica e abstração reflexiva. Mitchelmore e White (2007) segmentaram a abstração nos estágios: abstração empírica e abstração teórica. Já Haberman e Muller (2008) associaram a abstração às seguintes características: generalização de exemplos específicos; identificação, extração e isolamento de componentes essenciais e; ignorar ou reter detalhes irrelevantes.

Diferentes áreas do conhecimento contemplam estudos relacionados à abstração. Statter e Armoni (2020) analisaram o efeito do uso de um *framework* para ensino de abstração no contexto de resolução de problemas algorítmicos, em um curso introdutório de Ciência da Computação para 187 alunos da 7ª série. Os resultados indicaram que o *framework* foi eficaz para desenvolver habilidades de abstração, bem como outras habilidades e aspectos relacionados, como a tendência de fornecer explicações para soluções, o uso de processos de inicialização e a percepção da natureza da Ciência da Computação. Taub, Armoni e Ben-Ari (2014) examinaram a evolução da utilização de níveis de abstração em Física por meio do emprego de um *framework* de jogos epistêmicos. Na pesquisa foram considerados cinco projetos realizados por alunos do 10º ano e dois por alunos do 11º ano. Os resultados revelaram que os alunos se moveram entre níveis de abstração em física, passando do baixo nível de pensamento sobre um fenômeno concreto da Física para o alto nível de formulação de equações.

Khasanah, Kusmayadi e Nurhasanah (2021) descreveram a abstração em Matemática de alunos do ensino fundamental, na aprendizagem do conceito de função, entre 28 alunos do sexo masculino e feminino da 8ª série. Com base no resultado da análise de dados, a abstração matemática dos alunos pode ser classificada em quatro níveis: reconhecimento, representação, abstração estrutural e consciência estrutural. O resultado da pesquisa mostrou que as alunas atingiram a abstração matemática nos quatro níveis, enquanto os alunos do sexo masculino, alcançaram somente o nível de reconhecimento. Karch e Sevian (2020) operacionalizaram a abstração como a medida em que alunos integram o conhecimento prévio, enquanto manipulam e transformam um espaço do problema. Propuseram quatro ações de mudança da abstração: concretizar, manipular, reestruturar e generalizar. A pesquisa envolveu 19 estudantes da graduação, matriculados em Física-Química II. Como conclusões preliminares, foi percebido

que um nível mais alto de abstração não correspondeu a um maior sucesso ou correção na resolução de problemas; na verdade, abstrair quando era inapropriado costumava levar os alunos ao erro.

No domínio da resolução de problemas, é possível pensar em diferentes níveis de abstração, que estão associados a vários estágios dos processos de solução de problemas. Obter experiência na solução de problemas significa que o estudante seja capaz de identificar qual nível de abstração é adequado para um determinado estágio, considerando a análise do problema, o design da solução, bem como sua execução (HABERMAN e MULLER, 2008). Contudo, na Química, os alunos nem sempre estão preparados ou possuem uma capacidade de abstração adequada para solucionar problemas, podendo, segundo Overton, Potter e Leng (2013), recorrer a abordagens inapropriadas ou, até mesmo, utilizar estratégias inúteis.

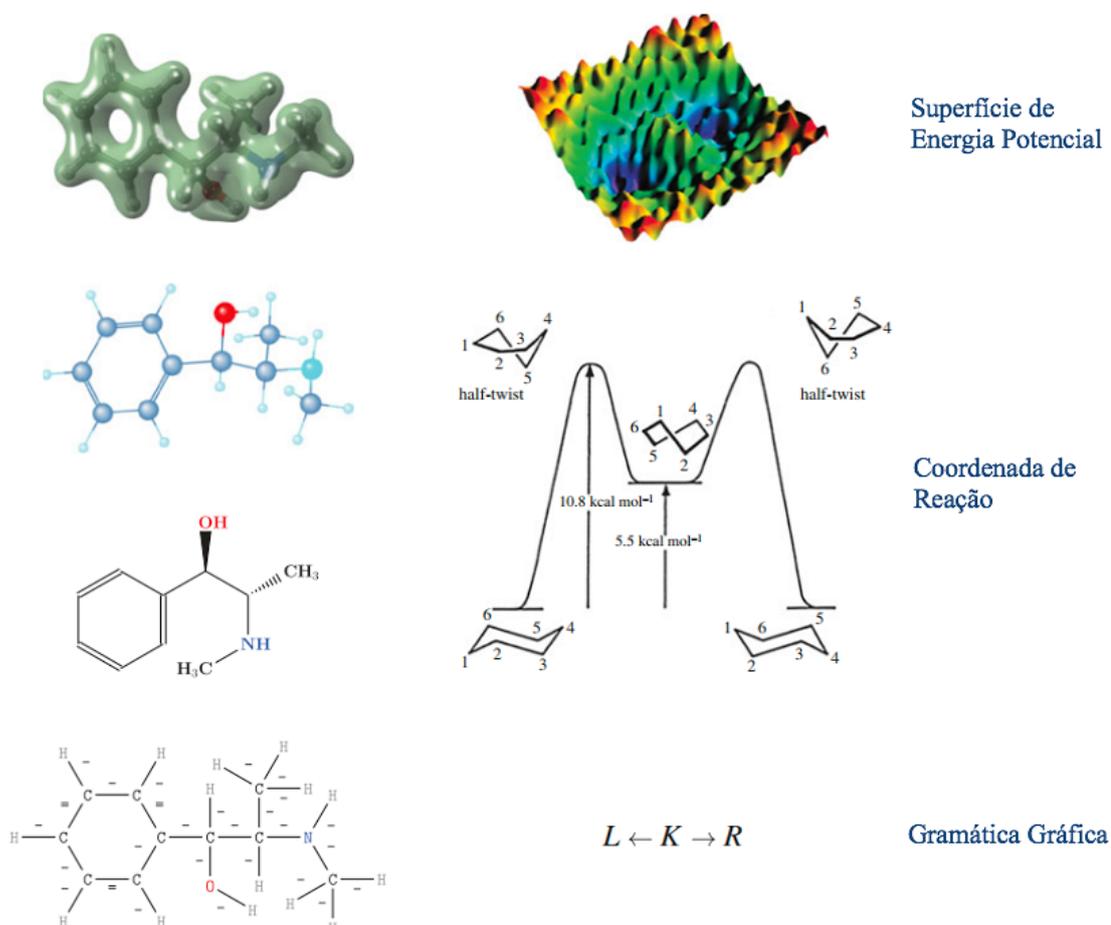
2.2.1 A Abstração na Aprendizagem em Química

As dificuldades dos alunos em compreender representações abstratas em Química pode levá-los a fazer analogias de nível superficial, o que pode prejudicar a aprendizagem (BHATTACHARYYA, 2008). Graulich, Tiemann e Schreiner (2012) mostraram que alunos considerados de alto desempenho na resolução de problemas mecanicistas possuem habilidades de fazer abstrações relacionadas a rearranjos de seis elétrons, descobrindo semelhanças estruturais sobre esse tipo de reação. Esses alunos são, ainda, capazes de explicar as abstrações que usaram. Assim, o sucesso na aprendizagem dos alunos pode depender de suas capacidades de compreender e utilizar abstrações (SEVIAN *et al.*, 2015).

De acordo com Weinrich e Sevian (2017), para resolver problemas em Química Orgânica, os especialistas utilizam conceitos abstratos. As visualizações são usadas para concretizar esses conceitos abstratos, transformando o inobservável em símbolos visuais (HINZE *et al.*, 2013). Essas visualizações podem ser observadas como níveis de abstração, empregadas por abordagens computacionais em Química. A Figura 3 apresenta três níveis de abstração: o superior, relacionado à Superfície de Energia Potencial; o central, condizente à Coordenada de Reação e; o inferior, relativo à Gramática Gráfica. Muito da Química é ensinado em termos de estruturas moleculares abstratas e regras (reações nomeadas), que transformam gráficos moleculares (visualizações) uns nos outros, alternando entre níveis de abstração (ANDERSEN *et al.*, 2017). Assim, abstração em Química é essencial para a aprendizagem, como na visualização e interação com modelos moleculares, que proporciona a adequada

compreensão dos aspectos relacionados às propriedades moleculares (VAN DER ZWAN *et al.*, 2011).

Figura 3 – Níveis de abstração para abordagens computacionais em Química.



Fonte: Adaptado de Andersen *et al.* (2017).

Nesse cenário, a geometria molecular é um dos conceitos fundamentais da Química, que envolve o estudo de como os átomos estão espacialmente distribuídos em determinada molécula, assumindo formas geométricas (RODGER e RODGER, 2014), o que exige dos estudantes uma adequada capacidade de abstração. Dessa forma, a próxima subseção destina-se à abstração na aprendizagem de geometria molecular, bem como a caracterização deste conceito.

2.2.1.1 A Abstração na Aprendizagem em Geometria Molecular

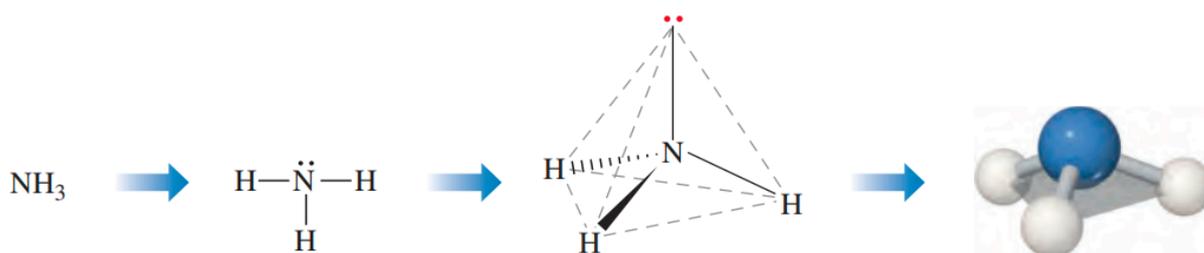
Segundo Rodger e Rodger (2014), a estrutura molecular pode aparentar ser uma de suas propriedades mais simples, porém é capaz de transmitir uma riqueza de informações a qualquer

um que saiba interpretá-la. A geometria molecular refere-se justamente às formas moleculares, mais especificamente ao estudo de como os átomos estão espacialmente organizados em determinada molécula. Ela ocorre pela predição da forma (aproximada) de uma molécula considerando o número de pares de elétrons na camada de valência do átomo central (GILLESPIE e HARGITTAI, 2013).

Dependendo de como os átomos compõem uma molécula, esta pode assumir inúmeras formas geométricas, como linear, angular, trigonal plana, piramidal, tetraédrica, bipiramidal trigonal, octaédrica e piramidal quadrada. A Figura 5 apresenta as principais geometrias moleculares (de acordo com a teoria VSEPR, do inglês “*Valence Shell Electron-Pair Repulsion*”), bem como as respectivas geometrias de domínios eletrônicos, condizentes às moléculas com dois, três e quatro domínios eletrônicos circundando um átomo central.

Em relação ao processo de determinação da geometria molecular de uma molécula, de acordo com Brown *et al.* (2016), devem ser seguidas as etapas: i) desenhar a estrutura de Lewis da molécula e contar o número de domínios eletrônicos existentes ao redor do átomo central (cada par de elétrons não ligantes, cada ligação simples, cada ligação dupla e cada ligação tripla contam como um domínio eletrônico); ii) determinar a geometria do domínio eletrônico, organizando os domínios eletrônicos em torno do átomo central para que as repulsões entre eles sejam minimizadas (o mais afastado possível) e; iii) usar a distribuição dos átomos ligados ao átomo central para determinar a geometria molecular. A Figura 4 mostra como esses passos são aplicados para prever a geometria de uma molécula de NH_3 .

Figura 4 – Determinação da geometria molecular da NH_3 .

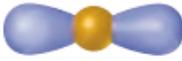
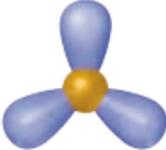
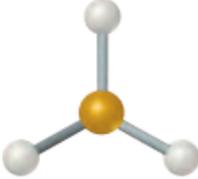
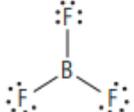
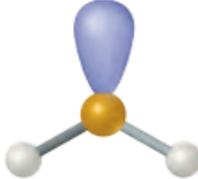
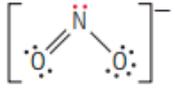
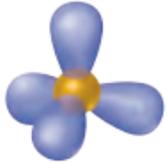
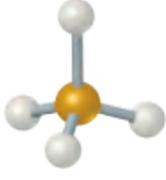
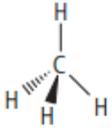
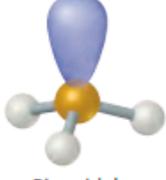
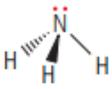
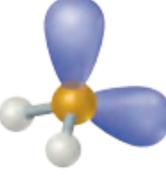


Fonte: Adaptado de Brown *et al.* (2016).

Estudantes, no entanto, costumam criar modelos mentais e/ou representações que muitas vezes vão de encontro ao conhecimento científico, resultando em diversos equívocos, os quais são expostos em termos de experiências dos alunos em relação às noções de Química (GARRATT, HORN e TOMLINSON, 2000; SARITAS, 2015). As dificuldades de

aprendizagem que os alunos possuem em relação à geometria molecular, possivelmente envolvem habilidades de abstração na resolução de problemas.

Figura 5 – Geometria dos domínios eletrônicos e geometrias moleculares para moléculas com dois, três e quatro domínios eletrônicos circundando um átomo central.

Número de domínios eletrônicos	Configuração dos domínios eletrônicos	Domínios ligantes	Domínios não ligantes	Geometria molecular	Exemplo
2	 Linear	2	0	 Linear	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$
3	 Trigonal plana	3	0	 Trigonal plana	
		2	1	 Angular	
4	 Tetraédrica	4	0	 Tetraédrica	
		3	1	 Piramidal trigonal	
		2	2	 Angular	

Fonte: Brown *et al.* (2016).

Isso ocorre pelo fato de os estudantes terem que realizar ações específicas, como escolher o átomo central, completar sua camada de valência e esboçar a estrutura de Lewis (AL-MOUSAWI, 1990; AHMAD e OMAR, 1992). Outro fator importante é o reconhecimento de que os alunos detêm o conhecimento do modelo de repulsão de pares de elétrons na camada de valência (VSEPR), mas geralmente possuem dificuldades em usar e aplicar esse conhecimento (BIRK e KURTZ, 1999; PETERSON, TREAGUST e GARNETT, 1989).

Em um ambiente de sala de aula tradicional, muitas vezes a geometria molecular é ensinada por meio de conversas, fazendo uso de recursos como o quadro-negro, livros e com apresentações com projetores. De acordo com SARITAS (2015), os professores geralmente introduzem o tópico com alguns exemplos sobre as formas básicas das moléculas, e incentivam os alunos a aplicarem as regras da teoria VSEPR, usando modelos de bola e bastão de plástico. No entanto, essas representações dificultam a compreensão de características importantes, como a determinação de ângulos e as dimensões dos átomos, não reproduzindo, apropriadamente, o arranjo tridimensional da estrutura molecular, prejudicando, também, a abstração desses modelos.

Como um fator problemático adicional, os estudantes direcionam suas atenções às características superficiais dos problemas, pois possuem dificuldades em atribuir significados aos símbolos empregados, não reconhecendo atividades diferentes daquelas que são exatamente iguais às que costumam praticar (SEVIAN *et al.*, 2015). Para Weinrich e Sevian (2017), os alunos devem ser capazes de extrair propriedades relevantes, relacionar semelhanças e diferenças com problemas vistos anteriormente, extrapolar e realizar inferências enquanto resolvem problemas; essencialmente, devem ser capazes de reconhecer e gerar abstrações.

Buscando compreender melhor a natureza do uso e a capacidade de abstração dos alunos, diferentes pesquisas foram desenvolvidas, como pôde ser observado no subcapítulo anterior. No entanto, o **modelo de mapeamento de representação**, proposto por Hahn e Chater (1998), destaca-se por caracterizar, de forma consistente, a abstração dos estudantes durante a resolução de problemas (SEVIAN *et al.*, 2015).

2.2.2 Mapeamento de Representações para Caracterizar a Abstração

O contraste entre pesquisas relacionadas à cognição baseadas em regras e em similaridade é fundamental para as ciências cognitivas (HAHN e CHATER, 1998). O pensamento de que a cognição envolve seguir **regras** mentais está na essência da imagem clássica do sistema cognitivo (NEWELL e SIMON, 1976). As regras mentais codificam fatos

gerais sobre o mundo e esses fatos são aplicados a instâncias específicas da atividade cognitiva. Já a **similaridade**, em conjunto com configurações de instâncias armazenadas, sugere um modelo alternativo de cognição. Ao contrário de derivar regras gerais condizentes à estrutura do mundo, situações passadas (“instâncias” em psicologia; “casos” em Inteligência Artificial) são armazenadas de uma forma relativamente não processada. Dessa forma, de acordo com Aamodt e Plaza (1994), o raciocínio relativo a uma nova situação depende de sua semelhança com uma ou mais situações passadas.

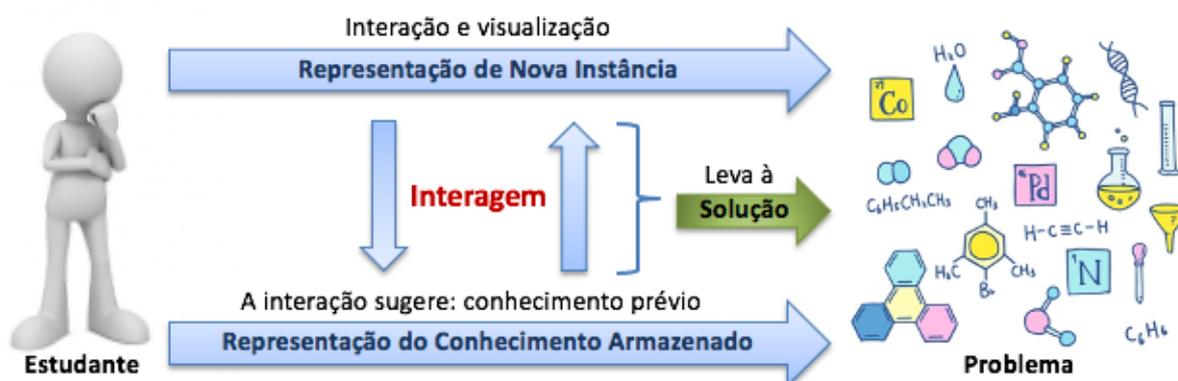
Hahn e Chater (1998) propuseram um modelo de mapeamento de representação fundamentado em representações armazenadas e em como elas são aplicadas. O modelo também distingue as duas principais classes de processos cognitivos (regras e similaridade), abrangendo outros tipos de raciocínio, particularmente o raciocínio de protótipo e de banco de memória (ou seja, aplicando correspondência ou algoritmos memorizados). Embora existam outros tipos de raciocínio, que não necessariamente se acomodam neste esquema geral de domínio, como o mapeamento de entrada e saída, o modelo considera os tipos de raciocínio e o grau de abstração conforme apresentado no trabalho de Sevian *et al.* (2015) e aprofundado na pesquisa de Weinrich e Sevian (2017).

Nesta pesquisa, Weinrich e Sevian (2017) afirmam que o modelo de mapeamento de representação caracteriza a abstração, comparando como as representações de um aluno são usadas nos processos de raciocínio. Os autores também argumentam que o modelo permite examinar o raciocínio com base nas representações internas que os alunos usam como recursos mentais (representação de conhecimento armazenado) e criam (representação de nova instância) enquanto resolvem problemas.

Dessa forma, conforme a Figura 6, ao interagir com um problema, o solucionador de problemas (estudante) começa a visualizar o problema e constrói uma representação de nova instância do problema. A interação com o problema sugere o conhecimento prévio e, a partir disso, uma representação do conhecimento armazenado é formada. A representação do conhecimento armazenado e a representação da nova instância interagem para chegar a uma solução. As duas representações, de acordo com Weinrich e Sevian (2017), são definidas como:

- (i) **Representação de Nova Instância (RNI)**: como o estudante vê e aborda o problema em questão;
- (ii) **Representação do Conhecimento Armazenado (RCA)**: quais recursos o estudante aplica para resolver o problema.

Figura 6 – Representação do processo de resolução de problemas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Weinrich e Sevian (2017), o mapeamento de representação caracteriza o conhecimento armazenado e as novas representações de instância e, em seguida, compara a abstração no uso dessas representações considerando duas formas: o nível de “*abstractness*” (substantivo) de cada representação e; a ação de “*abstracting*” (verbo) entre as representações. Como esta tese utiliza a metodologia sugerida por Weinrich e Sevian (2017), as nomenclaturas foram modificadas para melhorar o entendimento no idioma português, assim, permanecendo:

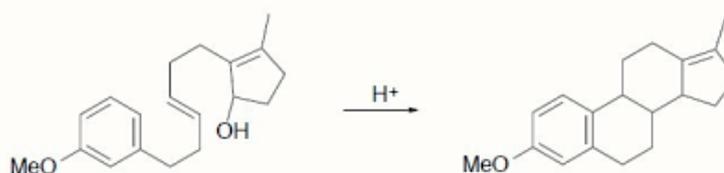
- (i) **Nível de abstração:** o grau de abstração de cada representação;
- (ii) **Modo de abstração:** a ação de abstrair entre representações.

Nível de abstração é o grau de abstração (referências não concretas, sistemas de símbolos adicionais ou relações subjacentes) presente na maneira como uma pessoa imagina um problema, ou seja, uma representação ou recurso mental. Dessa forma, o modelo de mapeamento de representação compara o nível de abstração relativo das representações armazenadas e de novas instâncias. Para elucidar, um exemplo empregado por Weinrich e Sevian (2017) é apresentado na sequência.

Quando solicitado a propor um mecanismo para o problema na Figura 7, um aluno hipotético poderia dizer “*eu preciso formar uma linha aqui e aqui nesta estrutura e me livrar deste OH para chegar ao produto*”. Este aluno está falando sobre características muito explícitas do problema. Enquanto outro aluno poderia dizer “*o oxigênio é eletronegativo e está puxando a densidade do elétron para longe deste carbono. Talvez eu comece pensando em como o carbono ligado ao oxigênio pode ser um eletrófilo nesta reação*”. Este segundo aluno hipotético incluiu conceitos adicionais, que não foram explicitamente mencionados no problema fornecido e, ao contrário disso, vinculou o problema às relações subjacentes. Assim,

o último aluno hipotético utilizou representações que possuíam, relativamente, um nível de abstração maior, pois ele tinha e foi capaz de mobilizar mais abstrações armazenadas.

Figura 7 – Proponha um mecanismo.



Fonte: Weinrich e Sevian (2017).

Modo de abstração: refere-se à ação de abstrair (por exemplo, simplificar, generalizar e extrair informações pertinentes) como uma habilidade; são as ações tomadas ao combinar as representações. Isso caracteriza o que é correspondido (combinado) entre as representações do conhecimento armazenado e a representação de nova instância. Assim, a forma como as duas representações são correspondidas pode ser **estrita** ou **parcial**, de acordo com o modelo de mapeamento de representação (HAHN e CHATER, 1998). Para elucidar, um exemplo empregado por Sevian *et al.* (2015) é apresentado na sequência.

Um indivíduo poderia ter uma nova representação de instância, referente a novo composto de carbono, de cadeia linear com uma ligação dupla C – C, e poderia combinar isso com o conhecimento armazenado de formas diferentes. Caso o conhecimento armazenado fosse “se o composto tivesse uma cadeia de carbonos **E** houvesse uma ligação dupla C – C, **ENTÃO** seria sempre um alceno”, o indivíduo poderia corresponder estritamente ao conhecimento existente, que foi armazenado como uma regra, para a nova representação de instância. Nesse caso, se o antecedente da regra armazenada (cadeia de carbonos e ligação dupla C – C) for satisfeito pela representação da nova instância, então o conseqüente (é um alceno) se aplica à nova instância. Alternativamente, se o conhecimento armazenado fosse um conjunto de instâncias anteriores com rótulos de categoria (etano é chamado de “alceno” e ciclohexeno é chamado de “alceno”), então a nova representação de instância poderia ser classificada como um alceno, caso a instância anterior, mais semelhante, tenha sido classificada como um alceno. Nem todos os aspectos das instâncias de conhecimento armazenado são iguais aos da nova instância, mas os aspectos considerados importantes são mais semelhantes. Nesse caso, o indivíduo estaria usando combinação parcial.

A estrutura de mapeamento de representação fornece um espaço de possibilidade de tipos de raciocínio (Tabela 1), considerando o nível e o modo de abstração. Em termos de **modo**

de abstração, quando as representações são estritamente correspondidas, o aluno pode estar usando o raciocínio baseado em regras ou de banco de memória. Quando as representações são parcialmente correspondidas, o aluno pode estar usando um protótipo ou raciocínio baseado em similaridade.

Em termos de **nível de abstração**, quando as representações de um aluno possuem um nível de abstração aproximadamente igual (tanto relativamente baixa quanto relativamente alta), o aluno pode estar usando raciocínio baseado em similaridade (caso as representações sejam parcialmente correspondidas) ou raciocínio de banco de memória (caso as representações sejam estritamente combinadas). Quando uma das representações de um aluno é de um nível de abstração maior do que a outra ($RCA > RNI$, ou $RNI > RCA$), o aluno pode estar usando o raciocínio de protótipo (caso as representações sejam parcialmente correspondidas) ou o raciocínio baseado em regras (caso as representações sejam estritamente combinadas).

É possível observar, dessa forma, que o modelo de mapeamento de representação de Hahn e Chater (1998) fornece um meio possível para distinguir diferentes abordagens de raciocínio, no entanto, a proposta de Weinrich e Sevian (2017) esclarece como elas surgem de construções separáveis: nível de abstração e modo de abstração.

Tabela 1 – Espaço de possibilidade de mapeamento de representação de diferentes tipos de raciocínio com base em diferentes tipos de nível e de modos de abstração.

		Modo de Abstração	
		Correspondência Parcial	Correspondência Estrita
Nível de Abstração	Diferente ($RCA > RNI$ ou $RNI > RCA$)	Raciocínio de Protótipo	Raciocínio Baseado em Regras
	Aproximado/Igual (RCA e RNI ambos altos ou ambos baixos)	Raciocínio Baseado em Similaridade	Raciocínio Baseado em Banco de Memória

Fonte: Adaptado de Weinrich e Sevian (2017).

Nesse cenário, pesquisadores concordam que é difícil para muitos alunos aprenderem o pensamento abstrato; ao mesmo tempo, eles afirmam que o pensamento abstrato é um componente crucial para a aprendizagem (BENNEDSSEN e CASPERSEN, 2008; KHASANAH, KUSMAYADI e NURHASANAH, 2021). Dessa forma, considerando a abstração no contexto da educação em Química, muitas iniciativas têm sido desenvolvidas para

emprego de recursos tecnológicos como apoio aos processos de ensino e aprendizagem. Widarti, Rokhim e Muchson (2021) desenvolveram um Laboratório Virtual para o ensino de Química Analítica; Lutfi e Hidayah (2021) utilizaram a Gamificação Móvel dirigida à aprendizagem de hidrocarbonetos; Zendler e Greiner (2020) ministraram aulas de reações entre metais usando um software de simulação; Maksimenko *et al.* (2021) implementaram um sistema imersivo com Realidade Virtual (RV) para a instrução de estruturas atômicas e; Abdinejad *et al.* (2021) projetaram um aplicativo para visualizar e interagir com estruturas moleculares tridimensionais, utilizando realidade aumentada.

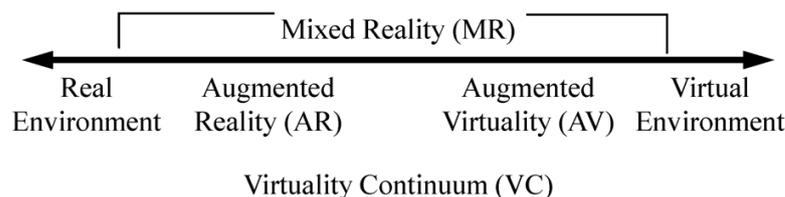
Realizada a apresentação e a contextualização da abstração na aprendizagem de Química, bem como do modelo de mapeamento de representações, o próximo subcapítulo dedica-se à tecnologia de realidade aumentada.

2.3 Realidade Aumentada

Azuma (1997) define a realidade aumentada como sendo uma variação da Realidade Virtual. Em comparação com a RV tradicional, a RA apresenta uma interface que combina o mundo real e o mundo virtual, gerando um ambiente onde os usuários podem mesclar cenas da vida real com objetos virtuais, permitindo uma experiência interativa homem-máquina natural e realista (CHANG e CHUNG, 2016). Maier e Klinker (2013) caracterizam a RA como um conjunto de tecnologias que permite combinar imagens reais e virtuais de forma interativa e em tempo real, possibilitando acrescentar informações virtuais às informações físicas que os usuários percebem do mundo real.

Conforme proposto inicialmente Milgram e Kishino (1994), a RA faz parte de uma escala contínua (*continuum* de virtualidade) do ambiente real ao virtual (Figura 8). Em uma extremidade dessa escala, há um ambiente puramente real, físico, “consistindo apenas em objetos reais”, e na outra, um ambiente puramente virtual, “consistindo apenas em objetos virtuais” (Milgram e Kishino, 1994). Os autores consideram qualquer ambiente, que consiste em uma mistura de objetos reais e virtuais, como uma Realidade Mista (RM). Ambientes de RM, onde o mundo real é aumentado com conteúdo virtual são denominados de realidade aumentada, enquanto aqueles onde a maior parte do conteúdo é virtual, mas há alguma consciência ou inclusão de objetos do mundo real, são nomeados de Virtualidade Aumentada (VA).

Figura 8 – Representação simplificada do “continuum de virtualidade”.



Fonte: Milgram e Kishino (1994).

É importante observar que a definição apresentada por Milgram e Kishino (1994) preocupa-se, explicitamente, apenas com exibições visuais. No entanto, a RA, nesse cenário, permite ser interpretada como um meio termo entre ambientes virtuais e ambientes reais, onde a RA complementa a RV. Assim, a RA não substitui completamente o ambiente real, ela proporciona ao usuário a percepção de que os objetos virtuais e reais coexistam, simultaneamente, em um mesmo espaço. Já com um direcionamento aos sistemas computacionais que incorporam a RA, Azuma (1997) propõe que estes sistemas devam apresentar três características essenciais: (i) combinar elementos virtuais com o ambiente real; (ii) ser interativos e ter o seu processamento em tempo real e; (iii) ser concebidos em três dimensões.

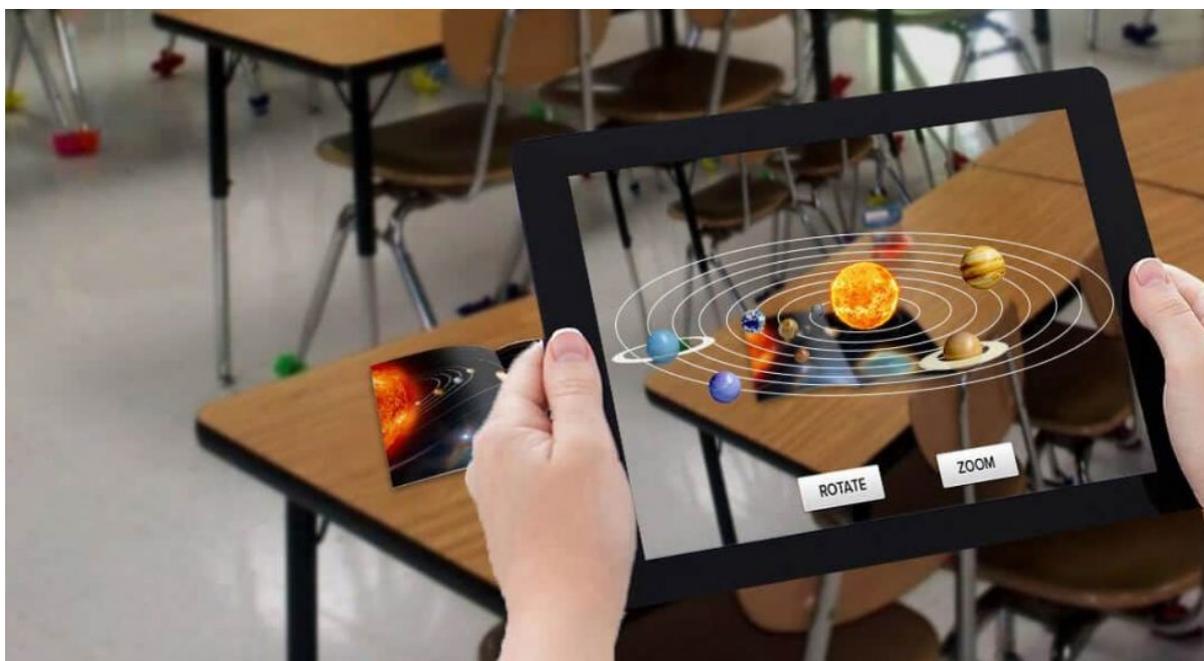
A RA pode ser analisada considerando diversos aspectos, como plataformas, dispositivos e categorias de sistemas empregados. Em relação à plataforma em que a RA é utilizada, é possível pensar em um modelo sintético, como o proposto por Bosch (2009). Este modelo adota a identificação dos tipos de plataformas utilizados em aplicações de RA, em termos de plataforma de computação dominante, ou seja, Desktop, *Web* e Móvel. Em relação ao aspecto dispositivos, é possível considerar a classificação dos tipos de dispositivos fundamentada na abordagem de Green e Huang (2017), que propõem uma análise simplificada dos dispositivos digitais, com uma divisão primária entre dispositivos de uso geral e dispositivos de tarefas específicas, embasada na *Dewey Decimal Classification* (DDC). Assim, os tipos de dispositivos abrangem Dispositivos de RA (como o *Google Glass*), Desktop/notebook, *Smartphone* e *Tablet*.

No que se refere ao aspecto categorias de sistemas, podem ser classificados considerando a proposta de Wojciechowski e Cellary (2013), que definiram os tipos como sendo “Baseado em localização”, “Baseado em marcador” e “Sem marcador”. Os sistemas de RA baseados em localização usam os dados sobre a posição de dispositivos móveis, determinados pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS) ou sistemas de posicionamento

baseados em WiFi. Os sistemas baseados em marcador requerem o uso de marcadores artificiais no ambiente real para determinarem a posição de objetos físicos no ambiente. Já os sistemas sem marcador não necessitam de marcadores artificiais colocados no ambiente real, pois são baseados no rastreamento de características naturais de objetos físicos presentes no ambiente.

No que tange às utilizações e aplicações dos recursos da RA, percebe-se que inúmeros estudos estão sendo conduzidos e que diversas soluções computacionais, cada vez mais, estão sendo inseridas em diferentes campos. Dentre eles, constam áreas como a agricultura (SALVE, 2020), entretenimento (HÄNNINEN, 2020), marketing (SUNG, 2021) e propaganda (POZHARLIEV, DE ANGELIS e ROSSI, 2021), médica (MORO *et al.*, 2021) e educação (OSADCHYI, VALKO e KUZMICH, 2021), as quais utilizam a RA para o desenvolvimento de conteúdos e soluções envolventes e interativas, proporcionando experiências diferenciadas e enriquecedoras aos seus usuários. A Figura 9 apresenta um exemplo da utilização da RA no ensino do Sistema Solar, na qual um dispositivo móvel é empregado para gerar uma imagem virtual 3D a partir da identificação de marcadores.

Figura 9 – Realidade aumentada utilizada no ensino do Sistema Solar.



Fonte: <https://ekson.me>

Com os rápidos avanços na RA, suas aplicações na educação são cada vez mais significativas (CHEN e LIU, 2020). Na educação, particularmente, a Química tem atraído grande interesse na utilização da RA para o ensino em sala de aula e em laboratórios. Isso, deve-

se, principalmente, ao fato do ensino de Química se beneficiar do aprendizado e das instruções por meio da RA, pois permite que os alunos visualizem modelos de estruturas submicroscópicas e interajam com conceitos abstratos e complexos (VIRATA e CASTRO, 2019). Assim, a próxima seção será dedicada ao uso da RA na aprendizagem de Química.

2.3.1 A Realidade Aumentada como Apoio à Aprendizagem em Química

Na última década, a realidade aumentada tem se destacado no cenário educacional, sendo empregada em diversas áreas de conhecimento e diferentes níveis de ensino, da pré-escola à pós-graduação. Inúmeros benefícios são apontados quando a RA é utilizada como ferramenta de apoio às metodologias de ensino (PRIBEANU, BALOG e IORDACHE, 2017). Ela oportuniza aos educadores fornecerem novas formas de apresentar materiais de aprendizagem (CAI *et al.*, 2021), permitindo conceber ambientes de aprendizagem interativos, estimulando a curiosidade intelectual dos alunos (SATPUTE e BANSODE, 2016). A RA propicia a retenção de novas informações e de conhecimentos conceituais (ADEDOKUNSHITTU *et al.*, 2020; IRWANSYAH *et al.*, 2020), aprimorando o desempenho da aprendizagem (PHON, ALI e HALIM, 2015; OSMAN *et al.*, 2020).

Da mesma forma, facilita a aprendizagem (SANII, 2019; OLIM e NISI, 2020), desenvolvendo habilidades espaciais (FATEMAH, RASOOL e HABIB, 2020; KODIYAH, IRWANSYAH e WINDAYANI, 2020) e concretizando conceitos abstratos (LAINE *et al.*, 2016; VIRATA e CASTRO, 2019). Estudos também mostram que aspectos afetivos são influenciados positivamente pela RA (CHEN e LIU, 2020), como o aumento da motivação dos estudantes (KIRIKKAYA e BAŞGÜL, 2019; TULI e MANTRI, 2020), da confiança (TEE *et al.*, 2018) e da satisfação (ABD MAJID e ABD MAJID, 2018).

Os procedimentos de ensino e aprendizagem de diferentes domínios do conhecimento estão gradativamente sendo complementados por estratégias que envolvem a RA. Antoniou *et al.* (2018) desenvolveram um aplicativo móvel de RA para o ensino de Astronomia, buscando auxiliar na aprendizagem de conceitos e tópicos que vão ao encontro das percepções observacionais mais limitadas dos alunos. Lim e Lim (2020) utilizaram a RA em dispositivos móveis na disciplina de História, abordando os desafios de rememorar com precisão os fatos históricos. Kaur *et al.* (2020) fizeram uso da RA como ferramenta de aprendizagem interativa, em diversos campos do ensino de Engenharia, na tentativa de melhorar a motivação dos alunos. Outras pesquisas envolvendo a RA também estão sendo realizadas em disciplinas como a Matemática (KANG *et al.*, 2020; PÉREZ-MUÑOZ *et al.*, 2020), Física (IBÁÑEZ *et al.*, 2019;

ABDUSSELAM e KARAL, 2020), *Biologia* (NASONGKHLA, SUPADAEC e CHIASSIRIPHAN, 2019; CELIK, GUVEN e CAKIR, 2020) e *Química* (NECHYPURENKO *et al.*, 2020; ASTUTI *et al.*, 2020).

No contexto da Química, especificamente, a RA está sendo utilizada como um importante recurso tecnológico para auxiliar na resolução de problemas em diferentes domínios. Isso é evidenciado nas pesquisas de Ewais e Troyer (2019), que utilizaram um aplicativo com suporte à RA para auxiliar na resolução de problemas relacionados a átomos e reações moleculares; Woźniak *et al.* (2020), que implementaram um sistema de gerenciamento de tarefas laboratoriais com recursos de RA, para assistir questões relacionadas ao tratamento térmico, misturas e medições de líquidos; Nurrohmah *et al.* (2020), que aplicaram um sistema com RA para a resolução de problemas relacionados ao conceito abstrato de soluções eletrolíticas e não eletrolíticas e; Badilla-Quintana *et al.* (2020), que utilizaram um aplicativo com RA, juntamente com modelos moleculares 3D, para resolverem problemas condizentes ao reconhecimento de compostos orgânicos e inorgânicos.

Mazzuco *et al.* (2022) realizaram um estudo buscando aprofundar e detalhar os tópicos da Química em que a RA é empregada. Encontraram um total de 38 tópicos com 90 ocorrências em 49 estudos. Como pode ser observado na Tabela 2, os autores identificaram que o tópico “Estruturas Moleculares” possui 17 ocorrências, o maior número representando 18,9%, seguido por “Reações Químicas” com 10 (11,1%), “Ligações Químicas” com 9 (10%), “Química Orgânica” com 5 (5,6%) e “Geometria Molecular” com 4 (4,4%).

Tabela 2 – Tópicos da Química em que a RA é aplicada.

Tópico	n	%	Tópico	n	%
Adição Nucleofílica	1	1,1	Medição de pH/Condutividade	1	1,1
Alcanos e Cicloalcanos	2	2,2	Mistura e Medição de Líquidos	2	2,2
Bioquímica	1	1,1	Mudanças Químicas	1	1,1
Célula Eletrolítica	1	1,1	Observação/Análise de Estruturas Moleculares	17	18,9
Composição de Matérias	1	1,1	Precipitação de DNA	1	1,1
Compostos Simples	1	1,1	Processo Solvay e LeBlanc	1	1,1
Elementos (Combinações)	1	1,1	Química Analítica	2	2,2
Eletroquímica	1	1,1	Química Inorgânica	3	3,3
Equações de Equilíbrio	1	1,1	Química Orgânica	5	5,6
Espectroscopia NMR	1	1,1	Quiralidade Molecular	2	2,2

Estereoquímica	2	2,2	Reações Químicas	10	11,1
Estrutura Cristalina	1	1,1	Reatividade Química	1	1,1
Estruturas Complexas	1	1,1	Compostos Orgânicos e Inorgânicos	1	1,1
Experimentos Químicos	1	1,1	Representação Submicroscópica	1	1,1
Gases	2	2,2	Segurança Laboratorial	1	1,1
Geometria Molecular	4	4,4	Soluções Eletrolíticas e não Eletrolíticas	1	1,1
Hibridização Molecular	1	1,1	Tabela Periódica	5	5,6
Instrumentação	1	1,1	Teoria Molecular Cinética	1	1,1
Ligações Químicas	9	10,0	Titulação	1	1,1

Fonte: Mazzuco *et al.* (2022).

Os dados apresentados na Tabela 2 evidenciam que a RA é constantemente empregada no ensino de Química, sendo que sua principal aplicação está vinculada à visualização 3D de estruturas de átomos e arranjos moleculares (MACARIU *et al.*, 2020) e de ligações químicas (EWAIS e TROYER, 2019). Provavelmente, esse cenário reflete a crucialidade do conhecimento da estrutura molecular 3D para que sejam compreendidos seus comportamentos químicos e propriedades (MAIER e KLINKER, 2013). Fatemah *et al.* (2020), no entanto, ressaltam que a percepção de modelos moleculares, juntamente com a compreensão dos processos e estruturas espaciais das moléculas, ainda têm sido causa de dificuldade para os estudantes, pois os métodos convencionais de ensino carecem de recursos que possam facilitar o entendimento desses conteúdos.

Isso pode ser atribuído, sobretudo, à limitação da habilidade de compreensão dos principais elementos visuoespaciais das estruturas moleculares 3D, incluindo a percepção de profundidade e o senso de escala, provocada pela utilização de imagens bidimensionais (2D) para ensinar assuntos relacionados a moléculas no formato 3D (WINDAYANI *et al.*, 2020). Dessa forma, as dificuldades apresentadas pelos alunos em compreender, interpretar e traduzir representações moleculares abstratas e complexas, inerentes a tópicos como “Estruturas Moleculares”, “Ligações Químicas” e “Geometria Molecular” podem ser reduzidas com a aplicação da RA em seus respectivos processos de ensino (MAZZUCO *et al.*, 2021). Na Química, especificamente, essa tecnologia oferece diferentes benefícios em relação ao material de aprendizagem clássico (EWAIS e TROYER, 2019), indo além da concretização de conceitos abstratos, abrangendo processos importantes, como a promoção da retenção do conhecimento (CHANG e CHUNG, 2018) e o desenvolvimento de habilidades espaciais (MAIER e KLINKER, 2013).

2.3.2 Revisão Sistemática de Literatura

Em relação ao uso da realidade aumentada como apoio ao processo de ensino e aprendizagem em Química, o autor desta tese, juntamente com outros pesquisadores, realizou uma revisão sistemática de literatura sobre o assunto. O estudo apresentou as particularidades desse cenário, como as relacionadas ao âmbito tecnológico, à metodologia e aos principais tópicos que utilizam a RA e buscou responder a seguinte questão: Como a realidade aumentada está sendo utilizada no processo de ensino e aprendizagem de Química? Foram envolvidos 2926 artigos e 49 analisados como estudos primários, indexados nas bases de dados *ACM Digital Library*, *IEEE Xplore Digital Library*, *ScienceDirect (Elsevier)*, *Scopus* e *Web of Science*, no período de 2011 a 2020.

Devido à dimensão tomada pela revisão, esta foi segmentada em três artigos. O primeiro, Mazzuco *et al.* (2021), foi publicado em um periódico nacional, direcionado ao público-alvo e aos tópicos da Química em que a RA é empregada. O segundo, Mazzuco *et al.* (2022), foi publicado em um periódico internacional, voltado às vantagens e desvantagens do uso da RA em Química, bem como aos tipos de dispositivos utilizados. O terceiro artigo foi submetido a um periódico nacional (em processo de análise), e está relacionado às características tecnológicas da RA e suas metodologias de aplicação na Química. Uma breve síntese de seus resultados é apresentada a seguir.

Foi possível sugerir que a RA está, cada vez mais, sendo utilizada no processo de ensino e aprendizagem de Química, visto que, nos últimos três anos, houve uma contínua ascensão no quantitativo de publicações. Foi possível inferir, do mesmo modo, que a heterogeneidade dos tópicos em Química em que a RA é aplicada (Tabela 2) é um reflexo do aumento do número de pesquisas, o que leva a deduzir que experimentos estão ocorrendo em várias frentes, especialmente envolvendo tópicos, como os relacionados às estruturas moleculares. Em relação ao nível de ensino do público-alvo, foi identificado que o nível da Graduação representa a maior parte, seguido pelo Ensino Médio, níveis de ensino em que a Química costuma ser formalmente estudada.

São projetados e implementados diferentes tipos de ferramentas que utilizam a RA, sobretudo, do tipo baseado em marcador, como um recurso diferenciado, com o intuito de apoiar o ensino de Química e, simultaneamente, de evidenciar a colaboração desta tecnologia, tanto em salas de aula quanto em laboratórios. Foi possível observar que os experimentos realizados, em sua maioria, abordam pesquisas de caráter quantitativo, cujo instrumento de

coleta de dados mais utilizado é o questionário de pesquisa, sendo que o maior número das pesquisas contemplou um montante de estudantes no intervalo entre 31 e 100 integrantes. Também, foi possível observar que a maior parte dos estudos não informou o tempo de duração dos experimentos, e entre aqueles que informaram, houve a predominância de ensaios realizados no período de até 60 minutos.

Nos estudos analisados, houve uma grande quantidade de relatos condizentes a diferentes vantagens proporcionadas pelo uso da RA no ensino de Química. A maioria delas está vinculada ao domínio afetivo, contudo, a vantagem relacionada à facilidade de aprendizagem, pertencente ao domínio cognitivo, é a mais citada entre todas as classificações. Por outro lado, houve um quantitativo reduzido de relatos relacionados aos desafios, estando praticamente restritos à dificuldade de uso, à distração dos alunos e a problemas técnicos. No entanto, o que ficou evidenciado foram alguns aspectos conflitantes entre vantagens e desafios, como a impossibilidade de compreender se a RA permite uma “facilidade de uso” ou se ela é “difícil para os alunos usarem”; se proporciona “o desenvolvimento de habilidades cognitivas” ou se “causa sobrecarga cognitiva”.

Por fim, foi possível perceber que a RA proporciona inúmeras vantagens quando utilizada adequadamente no processo de ensino e aprendizagem de Química. Embora ainda necessite de pesquisas mais aprofundadas e detalhadas e de desenvolvimento tecnológico e infraestrutural, a RA destaca-se como uma ferramenta educacional eficaz, capaz de ser utilizada como um meio facilitador em uma gama de tópicos de Química.

Após apresentar os principais resultados da RSL direcionada ao emprego da RA no processo de ensino e aprendizagem de Química, no próximo subcapítulo são apresentados os trabalhos relacionados, que abordam os principais estudos contemplados nesta revisão.

2.4 Trabalhos Relacionados

Para o desenvolvimento desta proposta de tese, de forma complementar aos trabalhos apresentados nos subcapítulos anteriores, alguns estudos foram analisados com o objetivo de identificar critérios significativos de utilização da abstração em soluções educacionais. Assim, com o intuito de realizar a avaliação das abordagens do uso da RA na resolução de problemas em Química, foram considerados estudos contemplados na RSL que de alguma forma estão relacionados com a abstração, com a geometria molecular ou com a análise de estruturas moleculares.

Nos próximos subcapítulos são apresentados os trabalhos relacionados, em ordem cronologicamente crescente, sobre abstração na educação e RA na resolução de problemas em Química.

2.4.1 Trabalhos Relacionados Sobre Abstração na Educação

Benedssen e Caspersen (2008) propuseram um estudo longitudinal de três anos para testar a hipótese de que a habilidade de abstração geral possui um impacto positivo no desempenho em ciência da computação. A capacidade de abstração foi operacionalizada como estágios de desenvolvimento cognitivo. Os resultados expuseram que, dificilmente, há qualquer correlação entre o estágio de desenvolvimento cognitivo (capacidade de abstração) e as notas finais em cursos de ciência da computação.

Sevian *et al.* (2015) apresentaram uma perspectiva de como uma estrutura de mapeamento de representação pode ser usada para caracterizar o raciocínio durante a resolução de problemas em Química, considerando ocorrências da abstração. O experimento foi aplicado a três professores e 15 alunos de três cursos distintos de graduação. Os autores concluíram que o raciocínio baseado em similaridade raramente ocorria em alunos, mas era comum para a resolução de problemas de todos os professores, embora com maior abstração do que nos alunos.

Hong e Kim (2016) analisaram e identificaram o nível e a forma de abstração matemática na resolução de problemas mal estruturados. Participaram do estudo 20 alunos do quinto ano do ensino fundamental. Os resultados mostraram que os níveis e formas de abstração matemática dos alunos podem ser melhorados pela exposição à abstração matemática, por meio de uma abordagem de aprendizagem de resolução de problemas, usando problemas mal estruturados.

Karch e Sevian (2020) operacionalizam a abstração como ações realizadas na solução de problemas de físico-química, exploraram a abstração identificando representações e conhecimentos prévios. Foram desenvolvidos mapas conceituais para destacar como os alunos conectaram e transformaram essas representações (ou seja, como eles abstraíram). Propuseram quatro ações de mudança da abstração: concretizar, manipular, reestruturar e generalizar. Concluíram que um nível mais alto de abstração não corresponde, necessariamente, a um maior sucesso ou correção na resolução de problemas; observaram que abstrair quando era inapropriado costumava levar os alunos ao erro.

Dewi, Siregar e Andriani (2021) realizaram uma investigação dos processos de pensamento dos alunos na resolução de problemas em Matemática, fundamentada nas variações das

respostas descobertas em problemas que envolviam a abstração. A pesquisa envolveu 33 alunos da sétima série, e utilizou métodos de coleta e análise de dados quantitativos e qualitativos. Os resultados mostraram que a adivinhação e o desenho foram os recursos usados para resolver os problemas de abstração, contudo, os alunos não maximizaram suas habilidades de pensamento crítico.

2.4.2 Trabalhos Relacionados Sobre RA na Resolução de Problemas em Química

Chiu, Dejaegher e Chao (2015) diante das dificuldades dos alunos em explicar fenômenos observáveis com comportamentos em nível molecular, investigaram como a combinação de experiências físicas e virtuais, em laboratórios com RA, pode ajudar os alunos a construir ideias intuitivas e desenvolver explicações, em nível molecular, de fenômenos macroscópicos. A pesquisa contemplou problemas referentes às propriedades de gases, envolvendo 45 alunos da oitava série. Os resultados demonstram que os alunos fizeram progresso no desenvolvimento de explicações, em nível molecular, do comportamento dos gases, bem como no refinamento de ideias alternativas e parciais em ideias normativas sobre os gases.

Tee *et al.* (2018) descreveram e realizaram demonstrações de uma ferramenta de titulação colorimétrica, que utiliza RA, em um grupo de 10 alunos de graduação em Química. Observaram que ela permitiu que vários alunos conduzissem a resolução do problema ao mesmo tempo, representando corretamente as cores associadas às mudanças nos valores de pH do indicador usado. Constataram que a ferramenta imbui um grande realismo na condução do experimento, o que permite identificar características de reações submicroscópicas em um ambiente macroscópico, com o uso mínimo de produtos químicos líquidos.

Virata e Castro (2019) realizaram uma pesquisa com estudantes do ensino médio, onde foi utilizado um aplicativo, com suporte à RA, para auxiliar na resolução de problemas sobre ligações químicas e compostos simples. Concluíram que a RA proporciona inovação, como um auxílio visual para o ensino e a aprendizagem, potencializando a visualização de princípios químicos e concretizando conceitos abstratos.

Wulandari *et al.* (2019) utilizaram mídias de RA para desenvolver a habilidade de representação submicroscópica de alunos do quarto semestre do curso de graduação em Educação em Química. Observaram que os estudantes apresentaram maior habilidade na determinação dos domínios vinculantes e não vinculantes com base na estrutura de Lewis. Determinaram que a tecnologia de RA pode ser usada como uma das mídias no

desenvolvimento da capacidade de representação submicroscópica, ou seja, da capacidade de abstração dos alunos em materiais relacionados à geometria molecular.

Kodiyah, Irwansyah e Windayani (2020) implementaram um programa de aprendizagem de alcanos e cicloalcanos baseado na visualização da estrutura molecular 3D, usando mídia de RA. A pesquisa envolveu estudantes do segundo semestre do curso de graduação em Educação Química. Foi possível concluir que o uso da RA pode melhorar a capacidade espacial dos alunos na resolução de problemas envolvendo aspectos estruturais de alcanos e cicloalcanos, indicando, também, que a mídia de RA permite visualizar a rotação que ocorre na conformação de alcanos e cicloalcanos da estrutura molecular 2D para a estrutura molecular 3D, abstraindo conceitos essenciais.

2.4.3 Aspectos Originais da Pesquisa

A Tabela 3 mostra os 10 trabalhos relacionados, identificando as cinco pesquisas que investigaram a abstração na educação e as cinco que empregam a RA na resolução de problemas em Química.

Tabela 3 – Trabalhos relacionados à proposta de tese.

Trabalhos Relacionados	
<i>Abstração na Educação</i>	<i>RA na Resolução de Problemas em Química</i>
Bennedssen e Caspersen (2008)	Chiu, Dejaegher e Chao (2015)
Sevian <i>et al.</i> (2015)	Tee <i>et al.</i> (2018)
Hong e Kim (2016)	Virata e Castro (2019)
Karch e Sevian (2020)	Wulandari <i>et al.</i> (2019)
Dewi, Siregar e Andriani (2021)	Kodiyah, Irwansyah e Windayani (2020)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta pesquisa diferencia-se dos trabalhos relacionados pelos aspectos a seguir apresentados:

- Investiga como o processo de abstração é desenvolvido na resolução de problemas de geometria molecular, diferentemente de todos os trabalhos;

- Investiga a resolução de problemas de geometria molecular fazendo uso de uma mídia de RA, como o trabalho de Wulandari *et al.* (2019), porém, difere de todos ao analisar como o processo de abstração é desenvolvido nesse cenário, tomando a RA como tecnologia mediadora ao processo de desenvolvimento de abstração para resolução de problemas;
- Examina e compara níveis de abstração dos estudantes ao resolverem problemas, como o estudo de Sevian *et al.* (2015); e se assemelha ao trabalho de Karch e Sevian (2020), por operacionalizar a abstração. Contudo, difere de todos os trabalhos, tanto por abordar problemas relacionados à geometria molecular quanto por utilizar mídia de RA;
- Identifica os processos de raciocínio usados pelos alunos na resolução de problemas, como no trabalho de Sevian *et al.* (2015), no entanto, difere de todos os estudos, tanto por abordar problemas relacionados à geometria molecular quanto ao utilizar mídia de RA;
- Investiga como o desenvolvimento do processo de abstração contribui para a aprendizagem em Química, semelhante aos trabalhos de Sevian *et al.* (2015) e Karch e Sevian (2020), no entanto, difere de todos, tanto por abordar problemas relacionados à geometria molecular quanto ao utilizar mídia de RA;
- As investigações desta proposta de tese consideram uma mediação por meio da RA, como ocorre nos trabalhos presentes no eixo “RA na Resolução de Problemas em Química” da Tabela 3, no entanto, difere de todos ao utilizar um sistema Web com interface de RA.

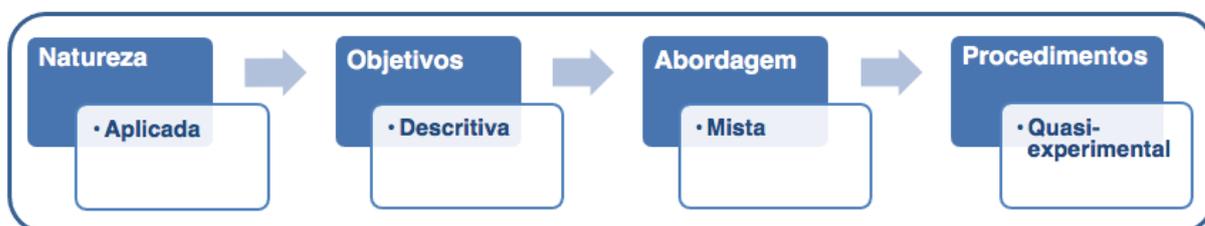
Esta proposta de tese, dessa forma, busca investigar como ocorre o desenvolvimento do processo de abstração, especificamente, na resolução de problemas de geometria molecular assistida pela RA. Do mesmo modo, pretende analisar os níveis de abstração e os tipos de raciocínios utilizados pelos estudantes para resolverem esses problemas. Para tanto, propõe-se empregar um sistema Web direcionado ao trabalho com modelos moleculares 3D, que possui suporte à tecnologia de RA. Assim, na próxima seção são detalhados os procedimentos metodológicos elaborados para o desenvolvimento desta pesquisa.

3 METODOLOGIA

Este capítulo detalha os procedimentos metodológicos de pesquisa, apresentando o seu público-alvo, o Sistema MMAR, os instrumentos de coleta de dados, as técnicas de análise de dados, a estratégia de condução e os procedimentos. A pesquisa é de natureza aplicada, de caráter descritivo, de abordagem mista (quali-quantitativa), com desenho quasi-experimental, como sintetiza a Figura 10.

O estudo foi estruturado como quasi-experimental sem grupo de controle, mas com grupos que receberam uma condução experimental diferente. Da mesma forma, o *desenho delimitado para o estudo* não abrange a ideia de pré-teste e/ou pós teste, pois o intuito desta pesquisa não está direcionado à compreensão de quanto o aluno aprendeu e/ou melhorou seu desempenho em determinado assunto. O objetivo está voltado à compreensão sobre como se dá o processo de abstração na resolução de problemas em Química com o uso da RA.

Figura 10 – Procedimentos metodológicos da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo de pesquisa adotado para a condução das investigações realizadas neste trabalho caracteriza-se por seguir a proposta apresentada por Weinrich e Sevian (2017). Em relação à abordagem, optou-se por um procedimento um pouco diverso, na tentativa de evitar desconforto aos estudantes ou, ainda, importunar o natural prosseguimento do curso. Dessa forma, o grupo amostral participou de atividades curriculares adicionais, que contemplaram tanto a maneira tradicional de ensino quanto uma forma diferenciada, na qual os alunos utilizaram um sistema Web, com recursos de RA, para visualizarem e interagirem com estruturas moleculares 3D.

3.1 Público-Alvo e Contexto

O público-alvo da pesquisa envolveu 16 estudantes do segundo ano do Curso Técnico em Eventos Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFar) e uma professora da disciplina de Química. O IFFar é uma instituição pública que oferta gratuitamente cursos da educação básica à superior. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética na Pesquisa (CEP) do IFFar (número do comprovante: 117196/2021).

As atividades da pesquisa foram conduzidas com os alunos no formato presencial. Os estudantes foram informados sobre o propósito da pesquisa, sobre o modo voluntário de sua cooperação e possíveis benefícios e riscos de sua participação. Também foram informados sobre a confidencialidade e uso restrito das informações coletadas. Esses esclarecimentos constam no Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) (Apêndice I) e Termo de Consentimento Livre e Esclarecido dos responsáveis (TCLE-responsáveis) (Apêndice II). Da mesma forma, como houve entrevistas com a professora, esta assinou o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice III). Procurando não colocar em risco a validade dos resultados, nenhum aluno tomou conhecimento da questão de pesquisa, ou de qualquer outra informação que poderia afetar a natural condição do desenvolvimento de suas atividades.

A participação dos estudantes na pesquisa foi voluntária. Deste modo, os estudantes que não concordaram em participar, ou não trouxeram o TALE e o TCLE assinados, realizaram as atividades definidas pela professora da disciplina normalmente, porém nenhum tipo de dado sobre sua participação nas atividades propostas foi coletado. Esses estudantes também não participaram de nenhum tipo de entrevista. Todas as atividades desenvolvidas foram previamente planejadas e elaboradas com orientações e acompanhamento da professora da disciplina de Química, sendo adaptadas para que todos fossem capazes de realizá-las, incluindo alunos que tivessem algum tipo de deficiência.

Para os alunos que trouxeram assinada a documentação para participação na pesquisa, foram realizadas entrevistas de forma individual em horários distintos dos períodos de aula, sendo previamente agendadas com cada discente, professora e pesquisador. Esse procedimento buscou evitar possíveis prejuízos à natural condução da disciplina, como constantes interrupções.

Como critério de inclusão dos entrevistados, foram considerados todos os estudantes que estiverem devidamente matriculados no segundo ano do curso técnico em eventos integrado ao ensino médio do IFFar. O tópico relacionado à geometria molecular compõe o currículo do

primeiro ano, contudo, devido às alterações provocadas pela pandemia no ensino, não foi possível ministrá-lo da forma prevista, sendo abordado no segundo ano do ensino médio. Os critérios de exclusão estão relacionados às dificuldades de comunicação (fala, audição ou algum tipo de deficiência intelectual), bem como problemas de visão, o que afetaria os resultados com relação à visualização dos materiais utilizando a realidade aumentada - foco desta pesquisa. Ressalta-se, no entanto, que mesmo os alunos que atenderam algum critério de exclusão, participaram de todas atividades de aula, já que os materiais foram adaptados às necessidades de cada um. Apenas a coleta de dados para a pesquisa não foi realizada com esses alunos.

A respeito do processo de consentimento dos responsáveis, a professora titular da disciplina de Química entrou em contato com os pais (ou responsáveis), via telefone e/ou e-mail, para realizar o convite de participação na pesquisa e combinar o envio e a assinatura do Termo de Consentimento em cópia física.

Por fim, em relação aos dados coletados nesta pesquisa (gravações de áudio e vídeo, transcrições de diálogos e fotos), ficarão armazenados em um HD (*Hard Disk*) externo, sob a responsabilidade do pesquisador, pelo período de 4 (quatro) anos. Após esse tempo, o HD externo será formatado, excluindo todos os dados da pesquisa. Observa-se, ainda, que os dados coletados serão utilizados apenas para esta pesquisa e mantidos de forma anônima.

3.2 Sistema MMAR

O sistema Web com suporte à tecnologia de realidade aumentada utilizado nos quasi-experimentos desta proposta de tese é denominado MMAR - *System of Molecular Modeling with Augmented Reality* (MAZZUCO, 2017; MAZZUCO *et al.*, 2018a). Este sistema foi planejado e desenvolvido pelo autor desta proposta de tese e apresentado como produto final do curso de Pós-Graduação em Tecnologias Educacionais em Rede, modalidade Mestrado, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no ano de 2017.

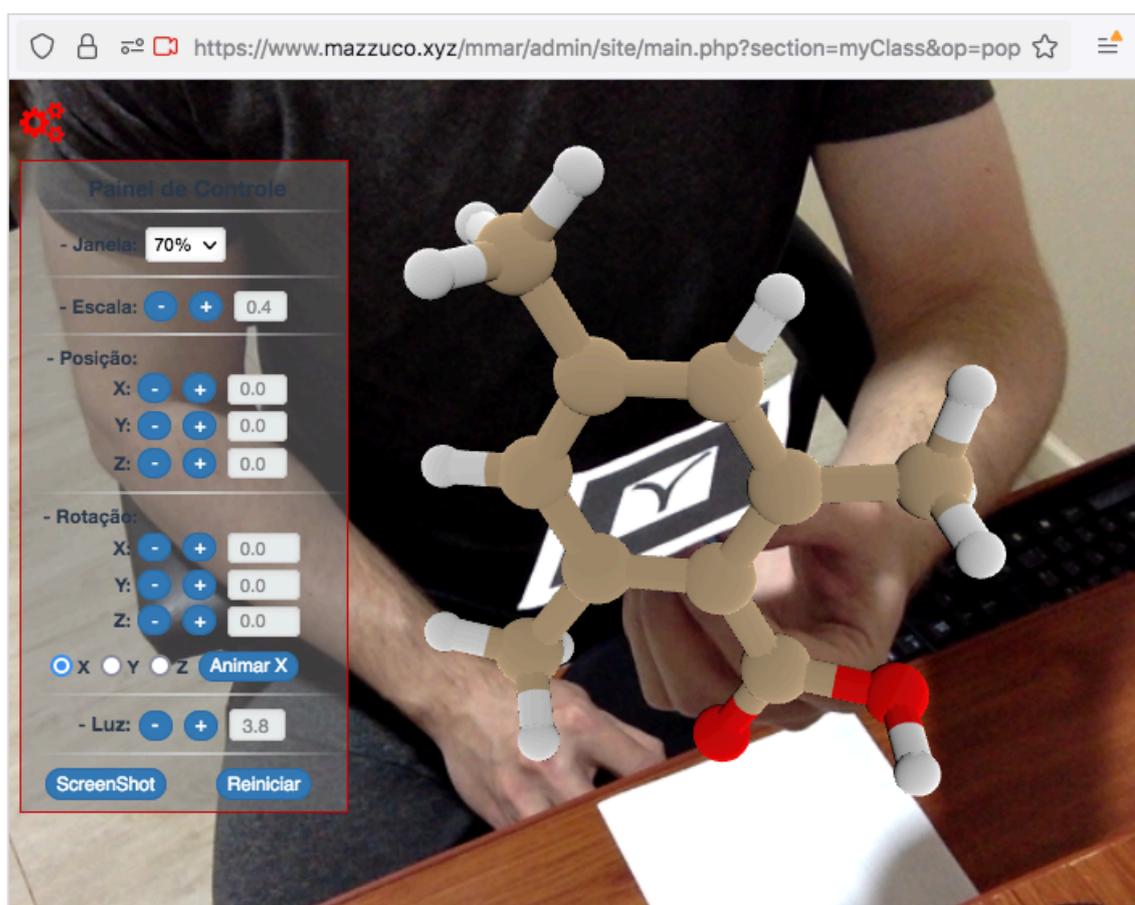
O Sistema MMAR é acessado por meio de navegador e permite três perfis distintos de usuários: administrador, professor e aluno. O sistema ainda possibilita que cada um destes perfis seja passível de uma personalização mais detalhada de seus acessos às seções, isto é, um professor, por exemplo, que está sendo cadastrado, pode ter seu acesso restrito a determinadas seções dentre as seções pré-definidas (por padrão) de seu perfil. O administrador tem acesso a todas as seções do sistema, bem como a todas as funcionalidades; ao professor são permitidas ações condizentes aos cadastros grupos, de alunos, de *softwares*, de categorias de moléculas,

de moléculas e de aulas; ao aluno é concedido o acesso aos seus respectivos dados cadastrais e às aulas nas quais seu professor lhe cadastrou (MAZZUCO, 2017).

É necessário, primeiramente, que o administrador cadastre o professor no sistema, logo após, este professor pode cadastrar grupos (de usuários) e, na sequência, cadastrar alunos (já os relacionando com determinado grupo). Em seguida, o professor é capaz de cadastrar categoria(s) de moléculas, bem como *softwares* (dos quais os arquivos .glTF¹ foram exportados) e, posteriormente, cadastrar moléculas (com seus respectivos arquivos .glTF), vinculando-as a alguma categoria.

No momento da criação de determinada aula, o professor relaciona quais grupos participarão desta aula, bem como as moléculas que serão trabalhadas. A partir desse momento, tanto o professor quanto os alunos que estão presentes no grupo que compõe a aula podem acessar “Minhas aulas” e utilizar a interface de realidade aumentada para interagir com as moléculas, que foram associadas a esta aula (Figura 11).

Figura 11 – Interface de RA do Sistema MMAR.



Fonte: Elaborado pelo autor.

¹ Formato de arquivo padrão para cenas e modelos tridimensionais, utilizado pelo Sistema MMAR.

Após a finalização da implementação e da realização dos testes do Sistema MMAR, este foi utilizado em outros estudos, como os desenvolvidos por Mazzuco e Bernardi (2019) e Mazzuco *et al.* (2018b). Contudo, as constantes atualizações de navegadores, por vezes, causavam instabilidades, principalmente relacionadas à interface de RA. Dessa forma, durante o ano de 2020 e 2021, foram realizadas modificações, buscando corrigir problemas e acrescentar de funcionalidades.

Entre as modificações mais significativas está a substituição do *framework* responsável pela interface de RA. A atual versão do Sistema MMAR utiliza o *framework Web A-Frame*², direcionado à construção de experiências de realidade virtual. Em relação aos principais acréscimos de funcionalidades, podem ser mencionados os presentes no menu da interface de RA (Figura 11), como mudanças de escala da molécula, alterações de posições com escolha dos eixos x, y e z, rotações e animações nesses mesmos eixos e efeitos de luminosidade.

3.3 Instrumentos de Coleta de Dados

A principal estratégia de coleta de dados foram as entrevistas semiestruturadas, seguindo o modelo adotado por Weinrich e Sevia (2017). As entrevistas foram gravadas (áudio e vídeo) e tiveram o objetivo de esclarecer e compreender o processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular, tanto no cenário tradicional quanto no cenário assistido pela tecnologia de realidade aumentada. No momento da gravação, contudo, somente foram capturadas imagens da escrita e/ou dos desenhos que os alunos fizeram durante a entrevista, ou seja, a câmera permaneceu focada na folha em que os alunos realizaram suas anotações.

Juntamente com as entrevistas semiestruturadas, também foram coletados dados referentes às resoluções dos problemas propostos, por meio de anotações em folhas individualizadas direcionadas a cada problema. Do mesmo modo, dados foram coletados com a utilização de atividades de apoio à entrevista (Apêndice IV) entregues a cada estudante de forma impressa.

Registros institucionais, relacionados às médias do semestre da disciplina de Química, igualmente foram utilizados como instrumento de coleta de dados. Dessa forma, foram analisadas possíveis relações entre os níveis de abstração, modos de abstração e tipos de processos de raciocínio, apresentados por cada estudante em seu discurso, com seu respectivo desempenho na disciplina na qual a pesquisa foi realizada (seção 4.4.3).

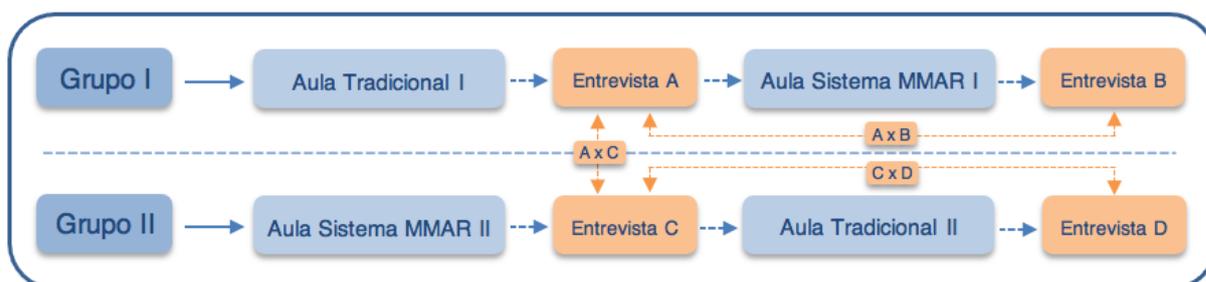
² Disponível em: <https://aframe.io>

3.4 Técnicas de Análise de Dados

Duas turmas do segundo ano do Curso Técnico em Eventos Integrados ao Ensino Médio participaram do experimento. Cada turma representou um grupo distinto de estudantes (Grupo I e Grupo II), que cumpriu uma estratégia de condução experimental diferente. As análises relacionadas ao processo de abstração foram realizadas considerando dados coletados durante as entrevistas semiestruturadas (Figura 12):

- “Entrevista A” e “Entrevista B” (A x B): refere-se ao Grupo I, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula tradicional e, posteriormente, participou de uma aula no Sistema MMAR. Neste procedimento, o aluno trabalhou com o sistema (“Aula Sistema MMAR I”), já possuindo conhecimentos em relação ao tópico de geometria molecular, adquiridos na aula tradicional (“Aula Tradicional I”);
- “Entrevista C” e “Entrevista D” (C x D): refere-se ao Grupo II, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula no Sistema MMAR e, posteriormente, participou de uma aula tradicional. Nesta prática, o aluno participou de uma aula tradicional (“Aula Tradicional II”), já possuindo conhecimentos em relação ao tópico de geometria molecular, adquiridos na aula com o Sistema MMAR (“Aula Sistema MMAR II”);
- “Entrevista A” e “Entrevista C” (A x C): refere-se ao Grupo I, no qual o aluno iniciou participando de uma aula tradicional (“Aula Tradicional I”), e ao Grupo II, no qual o aluno começou participando de uma aula no Sistema MMAR (“Aula Sistema MMAR II”). Em ambos os casos o aluno iniciou o experimento sem conhecimento prévio de geometria molecular.

Figura 12 – Relações de entrevistas utilizadas para coleta de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As entrevistas ocorreram após as aulas, tanto no formato tradicional quanto no formato utilizando o Sistema MMAR. As transcrições das entrevistas foram analisadas em episódios de raciocínio, que abrangeram todo o raciocínio sobre a resolução de determinado problema. Foi elaborado um resumo descrevendo o processo de resolução proposto por cada aluno, para cada problema. Em seguida, foi aplicado o modelo de mapeamento de representação (HAHN e CHATER, 1998; SEVIAN *et al.*, 2015; WEINRICH e SEVIAN, 2017) para analisar as informações. Essa abordagem compreendeu a identificação da representação de uma nova instância do aluno e a representação de conhecimento armazenado, como essas representações foram combinadas (modo de abstração) e o nível de abstração de cada representação, conforme abordado na seção 2.2.2.

De acordo com Weinrich e Sevian (2017), a representação de nova instância é identificada observando pistas (evidências) notadas pelo aluno ao se concentrar no problema. Assim, a **representação de nova instância** é descrita pela forma como o aluno observa o problema. Já a **representação do conhecimento armazenado** é identificada pela observação do tipo de informação que o aluno utiliza. Essa representação é caracterizada a partir das afirmações ou justificativas do aluno de fatos, relações ou conceitos e referências feitas aos conhecimentos aprendidos na disciplina.

Para realizar o reconhecimento da representação de nova instância e da representação do conhecimento armazenado, a partir avaliação dos dados coletados nas entrevistas, primeiramente, os diálogos foram transcritos e, imediatamente, executadas análises de forma indutiva. Na sequência, foram realizados agrupamentos de temas recorrentes a partir da leitura das respostas transcritas, efetuando um processo de construção de categorias *a posteriori*, seguindo a metodologia empregada por Merriam (1997).

Como também há o objetivo de identificar o tipo de raciocínio utilizado pelos alunos, é necessário analisar como eles resolvem os problemas de geometria molecular, como eles observam os problemas e os tipos de generalizações que realizam. Esse procedimento é feito determinando se os alunos combinam seu conhecimento armazenado e as representações de novas de instâncias de forma **parcial** ou **estrita**.

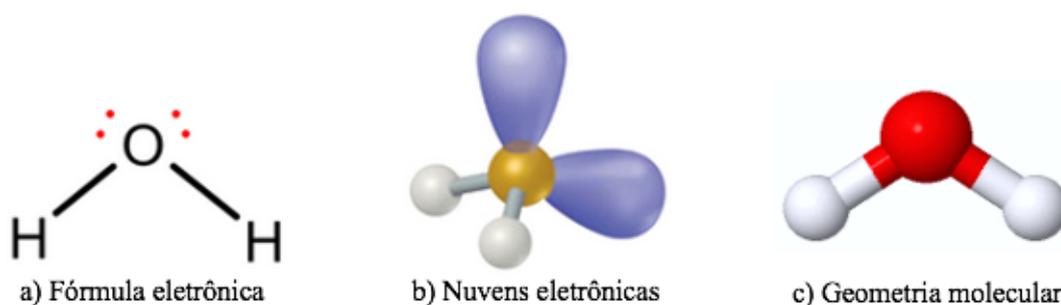
Com o intuito de elucidar a metodologia, que determina o nível de abstração, o modo de abstração e, conseqüentemente, o tipo de raciocínio, a seguir é apresentado um exemplo sucinto. São considerados quatro alunos hipotéticos, com as análises de sua respectiva representação de nova instância e representação de conhecimento armazenado. Para tanto, é necessário considerar os conceitos discutidos no subcapítulo 2.2.2, onde o **nível de abstração**

refere-se ao grau de abstração (referências não concretas, sistemas de símbolos adicionais ou relações subjacentes) que fazem parte da forma como um aluno idealiza um problema e; o **modo de abstração** diz respeito à ação de abstrair como uma habilidade (simplificar, generalizar e extrair informações pertinentes), ou seja, são as ações adotadas ao combinar as representações, podendo ser parcial ou estrita.

Tem-se, assim, o seguinte problema de geometria molecular apresentado como exemplo: *determine a geometria molecular da substância com a fórmula molecular H_2O e justifique.*

Para que o estudante consiga determinar a geometria molecular da substância com fórmula molecular H_2O , é necessário que seja capaz de realizar abstrações, de imaginar a estrutura molecular indo além de representações 2D usuais, como de sua fórmula estrutural química ou, ainda, de sua fórmula eletrônica (Figura 13, letra a). É essencial que o aluno consiga realizar operações cognitivas que envolvam elementos 3D, como disposições espaciais dos átomos, ligações e nuvens eletrônicas (Figura 13, letra b), levando-o a compreender sua geometria molecular (Figura 13, letra c), neste caso, determinando-a como Geometria Angular (segundo a Teoria VSEPR).

Figura 13 – Diferentes representações da substância H_2O .



Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo o exemplo problematizado, são apresentadas as respostas dos quatro alunos hipotéticos, bem como as possíveis análises dessas respostas, que implicarão nas definições dos seguintes aspectos: representação de nova instância, representação do conhecimento armazenado, nível de abstração, modo de abstração e tipo de raciocínio. Com exceção das observações relacionadas ao tipo de raciocínio, são apresentados fragmentos, sublinhados ou citados, das respostas dos estudantes que caracterizam cada aspecto.

Resposta do Aluno 01: “*A molécula de H_2O tem três átomos... se a molécula H_2O tem três átomos a geometria pode ser angular ou trigonal... talvez linear também. Mas o átomo central*

é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... se eu fizesse a fórmula eletrônica... sobrariam esses dois pares... na verdade tem duas nuvens eletrônicas... uma para cada par de elétrons não ligante... lembro que essas duas nuvens diminuem o ângulo entre os átomos de H... tendo três átomos e com duas nuvens de elétrons livres... seria uma Geometria Angular.”.

a) Representação de nova instância

Caracterizada por (sublinhados): “A molécula de H₂O tem três átomos... se a molécula H₂O tem três átomos a geometria pode ser angular ou trigonal... talvez linear também. Mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... se eu fizesse a fórmula eletrônica... sobrariam esses dois pares... na verdade têm duas nuvens eletrônicas... uma para cada par de elétrons não ligante... lembro que essas duas nuvens diminuem o ângulo entre os átomos de H... tendo três átomos e com duas nuvens de elétrons livres... seria uma Geometria Angular.”.

b) Representação de conhecimento armazenado

Caracterizada por (sublinhados): “A molécula de H₂O tem três átomos... se a molécula H₂O tem três átomos a geometria pode ser angular ou trigonal... talvez linear também. Mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... se eu fizesse a fórmula eletrônica... sobrariam esses dois pares... na verdade tem duas nuvens eletrônicas... uma para cada par de elétrons não ligante... lembro que essas duas nuvens diminuem o ângulo entre os átomos de H... tendo três átomos e com duas nuvens de elétrons livres... seria uma Geometria Angular.”.

c) Nível de abstração: diferente (RCA > RNI)

A representação de conhecimento armazenado possui maior detalhamento, envolvendo relações com assuntos que não foram explicitamente relacionados no problema, como “[...] pode ser angular ou trigonal [...]”, “[...] na verdade tem duas nuvens eletrônicas [...]”, “[...] se eu fizesse a fórmula eletrônica [...]”, “[...] lembro que essas duas nuvens diminuem o ângulo [...]” e “[...] tendo três átomos e com duas nuvens de elétrons livres [...]”.

d) Modo de abstração: correspondência estrita

A relação entre as representações ocorre, essencialmente, por meio de regras: **se** “[...] a molécula H₂O tem três átomos [...]”, **então** “[...] a geometria pode ser [...]”, **tendo** “[...] três átomos e com duas nuvens [...]”, **então** “[...] seria Geometria Angular”.

e) Tipo de raciocínio: baseado em regras

Definido por possuir um nível de abstração diferente e pela correspondência ser estrita (Tabela 4).

Tabela 4 – Modelo de mapeamento de representação com nível de abstração diferente e correspondência estrita, determinando o tipo de Raciocínio Baseado em Regras.

		Modo de Abstração	
		Correspondência Parcial	Correspondência Estrita
Nível de Abstração	Diferente (RCA > RNI ou RNI > RCA)	Raciocínio de Protótipo	Raciocínio Baseado em Regras
	Aproximado/Igual (RCA e RNI ambos altos ou ambos baixos)	Raciocínio Baseado em Similaridade	Raciocínio Baseado em Banco de Memória

Fonte: Elaborado pelo autor.

Resposta do Aluno 02: “A molécula de H₂O tem três átomos... se a molécula H₂O tem três átomos a geometria pode ser angular ou trigonal..., mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... na verdade têm duas nuvens eletrônicas... tendo três átomos e com duas nuvens de elétrons livres... seria uma Geometria Angular.”.

a) Representação de nova instância

Caracterizada por (sublinhados): “A molécula de H₂O tem três átomos... se a molécula H₂O tem três átomos a geometria pode ser angular ou trigonal..., mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... na verdade têm duas nuvens eletrônicas... tendo três átomos e com duas nuvens de elétrons livres... seria uma Geometria Angular.”.

b) Representação de conhecimento armazenado

Caracterizada por (sublinhados): “Se a molécula H₂O tem três átomos a geometria pode ser angular ou trigonal... mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... tendo três átomos e com duas nuvens de elétrons livres... seria uma Geometria Angular.”.

c) Nível de abstração: aproximado/igual (RCA = RNI)

As representações possuem um nível de detalhamento aproximado/igual, nenhuma representação envolve novas relações significativas com novos assuntos.

d) Modo de abstração: correspondência estrita

A relação entre as representações ocorre, essencialmente, por meio de regras: se “[...] a molécula H₂O tem três átomos [...]”, **então** “[...] a geometria pode ser [...]”, **tendo** “[...] três átomos e com duas nuvens [...]”, **então** “[...] seria Geometria Angular”.

e) Tipo de raciocínio: baseado em banco de memória

Definido por possuir nível de abstração aproximado/igual e pela correspondência ser estrita (Tabela 5).

Tabela 5 – Modelo de mapeamento de representação com nível de abstração aproximado/igual e correspondência estrita, determinando o tipo de Raciocínio Baseado em Banco de Memória.

		Modo de Abstração	
		Correspondência Parcial	Correspondência Estrita
Nível de Abstração	Diferente (RCA > RNI ou RNI > RCA)	Raciocínio de Protótipo	Raciocínio Baseado em Regras
	Aproximado/Igual (RCA e RNI ambos altos ou ambos baixos)	Raciocínio Baseado em Similaridade	Raciocínio Baseado em Banco de Memória

Fonte: Elaborado pelo autor.

Resposta do Aluno 03: “A molécula de H₂O tem três átomos... a molécula H₂O tem três átomos, como o CO₂, CS₂ e o SO₂... acho que geometria pode ser linear igual ao CO₂... ou será igual ao SO₂ que é angular? Mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... na verdade a molécula de H₂O tem duas nuvens

eletrônicas... uma para cada par de elétrons não ligante... e a molécula de SO₂ tem uma nuvem. Mas lembro que a molécula H₂O é parecida com a ClO₂⁻.... acho que seria Geometria Angular.”.

a) Representação de nova instância

Caracterizada por (sublinhados): “A molécula de H₂O tem três átomos... a molécula H₂O tem três átomos, como o CO₂, CS₂ e o SO₂... acho que geometria pode ser linear igual ao CO₂... ou será igual ao SO₂ que é angular? Mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... na verdade a molécula de H₂O tem duas nuvens eletrônicas... uma para cada par de elétrons não ligante... e a molécula de SO₂ tem uma nuvem. Mas lembro que a molécula H₂O é parecida com a ClO₂⁻.... acho que seria Geometria Angular.”.

b) Representação de conhecimento armazenado

Caracterizada por (sublinhados): “A molécula de H₂O tem 3 átomos... a molécula H₂O tem 3 átomos, como o CO₂, CS₂ e o SO₂... acho que geometria pode ser linear igual ao CO₂... ou será igual ao SO₂ que é angular? Mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... na verdade a molécula de H₂O tem duas nuvens eletrônicas... uma para cada par de elétrons não ligante... e a molécula de SO₂ tem uma nuvem. Mas lembro que a molécula H₂O é parecida com a ClO₂⁻.... acho que seria Geometria Angular.”.

c) Nível de abstração: aproximado/igual (RCA = RNI)

As representações possuem um nível de detalhamento aproximado/igual, nenhuma representação envolve novas relações significativas com novos assuntos.

d) Modo de abstração: correspondência parcial

A relação entre as representações ocorre, essencialmente, por similaridade: “[...] a molécula H₂O tem 3 átomos, **como** [...]”, “[...] ou será **igual ao** [...]”, “[...] a molécula H₂O é **parecida com** [...]”, “[...] **diferente do** SO₂ [...]”. Observa-se, que nem todos os aspectos das instâncias de conhecimento armazenado são iguais aos da nova instância, somente os mais importantes.

e) Tipo de raciocínio: baseado em similaridade

Definido por possuir nível de abstração aproximado/igual e pela correspondência ser parcial (Tabela 6).

Tabela 6 – Modelo de mapeamento de representação com nível de abstração aproximado/igual e correspondência parcial, determinando o tipo de Raciocínio Baseado em Similaridade.

		Modo de Abstração	
		Correspondência Parcial	Correspondência Estrita
Nível de Abstração	Diferente (RCA > RNI ou RNI > RCA)	Raciocínio de Protótipo	Raciocínio Baseado em Regras
	Aproximado/Igual (RCA e RNI ambos altos ou ambos baixos)	Raciocínio Baseado em Similaridade	Raciocínio Baseado em Banco de Memória

Fonte: Elaborado pelo autor.

Resposta do Aluno 04: “A molécula de H_2O tem três átomos... a molécula H_2O tem três átomos, como o CO_2 , CS_2 e o SO_2 ... acho que geometria pode ser linear igual ao CO_2 ... ou será igual ao SO_2 que é angular? Mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... se eu fizesse a fórmula eletrônica... sobrariam esses dois pares... diferente do SO_2 que sobraria somente um par. Na verdade a molécula de H_2O tem duas nuvens eletrônicas... uma para cada par de elétrons não ligante... e a molécula de SO_2 tem uma nuvem. Mas lembro que a molécula H_2O é parecida com a ClO_2^- ... as duas moléculas têm duas nuvens que diminuem o ângulo... acho que seria Geometria Angular.”.

a) Representação de nova instância

Caracterizada por (sublinhados): “A molécula de H_2O tem três átomos... a molécula H_2O tem três átomos, como o CO_2 , CS_2 e o SO_2 ... acho que geometria pode ser linear igual ao CO_2 ... ou será igual ao SO_2 que é angular? Mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... se eu fizesse a fórmula eletrônica... sobrariam esses dois pares... diferente do SO_2 que sobraria somente um par. Na verdade a molécula de H_2O tem duas nuvens eletrônicas... uma para cada par de elétrons não ligante... e a molécula de SO_2 tem uma nuvem. Mas lembro que a molécula H_2O é parecida com a ClO_2^- ... as duas moléculas têm duas nuvens que diminuem o ângulo... acho que seria Geometria Angular.”.

b) Representação de conhecimento armazenado

Caracterizada por (sublinhados): “A molécula de H₂O tem três átomos... a molécula H₂O tem três átomos, como o CO₂, CS₂ e o SO₂... acho que geometria pode ser linear igual ao CO₂... ou será igual ao SO₂ que é angular? Mas o átomo central é o oxigênio e como ele faz duas ligações sobram dois pares de elétrons não ligantes... se eu fizesse a fórmula eletrônica... sobriam esses dois pares... diferente do SO₂ que sobriaria somente um par. Na verdade a molécula de H₂O tem duas nuvens eletrônicas... uma para cada par de elétrons não ligante... e a molécula de SO₂ tem uma nuvem. Mas lembro que a molécula H₂O é parecida com a ClO₂⁻ ... as duas moléculas têm duas nuvens que diminuem o ângulo... acho que seria Geometria Angular.”.

c) Nível de abstração: diferente (RCA > RNI)

A representação de conhecimento armazenado possui maior detalhamento, envolvendo relações com assuntos que não foram explicitamente relacionados no problema, como “[...] geometria pode ser linear igual ao CO₂ [...]”, “[...] diferente do SO₂ que sobriaria somente um par [...]”, “[...] se eu fizesse a fórmula eletrônica [...]” e “[...] as duas moléculas têm duas nuvens que diminuem o ângulo [...]”.

d) Modo de abstração: correspondência parcial

A relação entre as representações ocorre, essencialmente, por similaridade: “[...] H₂O tem 3 átomos, **como** [...]”, “[...] ou será **igual ao** [...]”, “[...] a molécula H₂O é **parecida com** [...]”, “[...] **diferente do** SO₂ [...]”. Observa-se que nem todos os aspectos das instâncias de conhecimento armazenado são iguais aos da nova instância, somente os mais importantes. Como no caso hipotético do Aluno 03, observa-se que nem todos os aspectos das instâncias de conhecimento armazenado são iguais aos da nova instância, somente os mais importantes.

e) Tipo de raciocínio: protótipo

Definido por possuir um nível de abstração diferente e pela correspondência ser parcial (Tabela 7).

Tabela 7 – Modelo de mapeamento de representação com nível de abstração diferente e correspondência parcial, determinando o tipo de Raciocínio de Protótipo.

		Modo de Abstração	
		Correspondência Parcial	Correspondência Estrita
Nível de Abstração	Diferente (RCA > RNI ou RNI > RCA)	Raciocínio de Protótipo	Raciocínio Baseado em Regras
	Aproximado/Igual (RCA e RNI ambos altos ou ambos baixos)	Raciocínio Baseado em Similaridade	Raciocínio Baseado em Banco de Memória

Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, são apresentados os procedimentos relacionados ao planejamento de aulas e uso do Sistema MMAR, bem como às entrevistas semiestruturadas.

3.5 Procedimentos

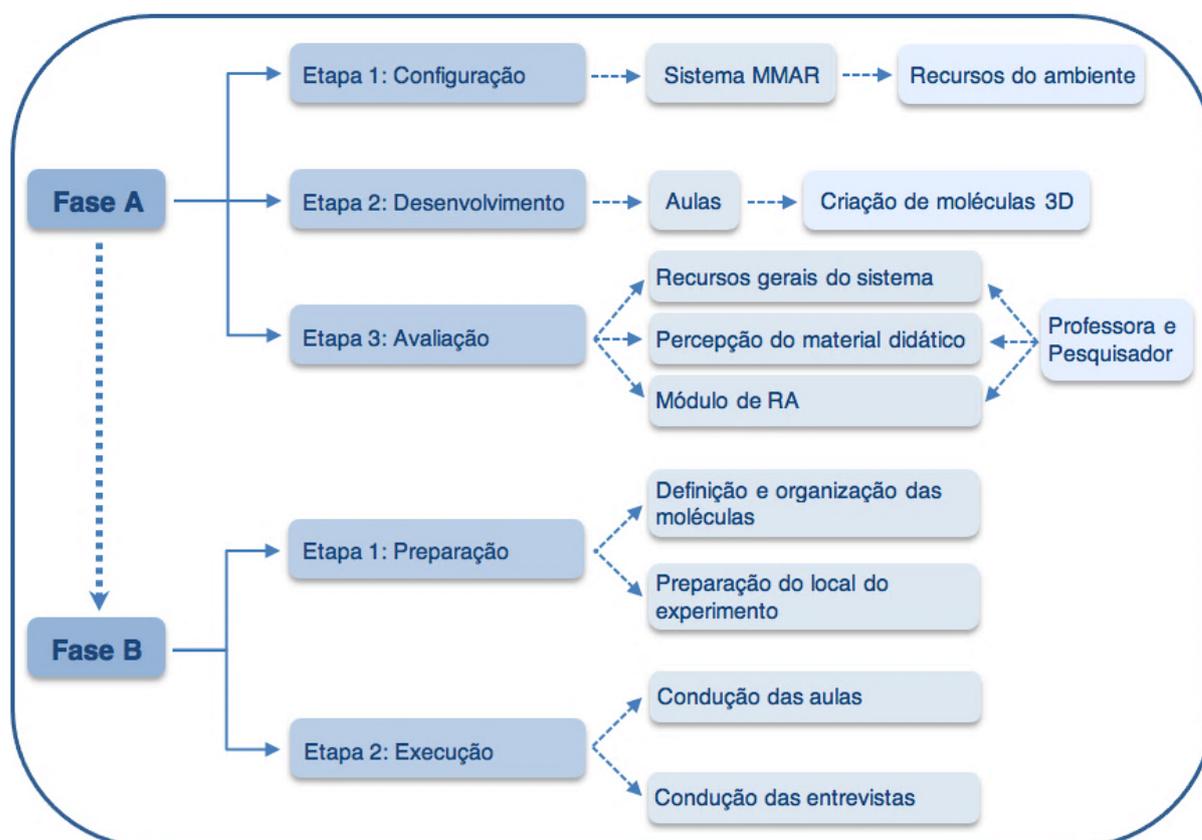
Para melhor organização e compreensão, os procedimentos desta pesquisa foram divididos em duas fases distintas. A primeira, denominada **Fase A**, abrange a configuração do sistema, bem como o planejamento e a elaboração dos materiais utilizados nos ensaios. A segunda, chamada **Fase B**, compreende todo o processo de condução dos experimentos.

A **Fase A** está dividida em três etapas, como ilustrado na Figura 14: Configuração, Desenvolvimento e Avaliação. As etapas foram concebidas e aprimoradas por meio de uma interação cíclica entre elas. Dessa forma, as dificuldades observadas no uso do ambiente, dos materiais ou, ainda, na forma de aplicá-los e avaliá-los permitiu a realização de melhorias ao final de cada ciclo.

A Figura 14 também permite sintetizar o conteúdo de cada etapa. A **Etapa 1 (Configuração)** foi destinada à construção dos principais recursos tecnológicos (ambiente) desta pesquisa, envolvendo a implantação e configuração do Sistema MMAR.

A **Etapa 2 (Desenvolvimento)** abrangeu o planejamento e a criação das aulas no sistema, sendo elaborado todo o material da disciplina de Química como textos, imagens e moléculas 3D. A **Etapa 3 (Avaliação)** envolveu a avaliação tanto dos recursos gerais do ambiente educacional (como o módulo de RA) quanto da percepção do material didático desenvolvido.

Figura 14 – Fases e etapas dos procedimentos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A **Fase B** está dividida em duas etapas: Preparação e Execução. A **Etapa 1 (Preparação)** contemplou a definição e organização das moléculas, bem como o preparo do local do experimento. Já a **Etapa 2 (Execução)** compreendeu a gestão das aulas e a condução das entrevistas semiestruturadas.

A seguir, são detalhadas as etapas que compõem a Fase A e a Fase B, apresentando suas particularidades, práticas e processos.

3.5.1 Fase A – Etapa 1: Configuração

O Sistema MMAR foi instalado e configurado utilizando os serviços de hospedagem da empresa KingHost³. A opção pela terceirização de toda a infraestrutura de hospedagem ocorreu na tentativa de otimizar aspectos relacionados à execução do sistema como segurança, disponibilidade, desempenho e robustez.

³ <https://king.host/>

A arquitetura do servidor contratado possui a seguinte composição: processador Intel Xeon 2GHz, 512MB (dois processos de 256MB) de memória RAM, 15GB de espaço em disco, sistema operacional Linux (64 bits), PHP 7.4, SGBD MySQL 5.6 e conexão segura HTTPS (certificado SSL). O Sistema MMAR utiliza o domínio <https://mazzuco.xyz/mmar>.

3.5.1.1 Perfil dos Usuários

As possibilidades de acesso aos conteúdos (organizados por módulos), estão relacionadas às funcionalidades inerentes ao Sistema MMAR que, por sua vez, estão vinculadas ao perfil de cada usuário. Além do tipo “Administrador” são permitidos os perfis “Professor” e “Aluno”. Os últimos são passíveis de personalização de funções, admitindo, que sejam mais restritivos ou abrangentes. Assim, para esta pesquisa foram adotadas as seguintes funcionalidades para cada perfil:

- a) Administrador: perfil de usuário com acesso global ao sistema, poderá acessar qualquer módulo (interface), bem como executar qualquer funcionalidade;
- b) Professor: perfil de usuário com acesso restrito às funcionalidades necessárias para criação e gerenciamento de aulas (grupos, categoria de moléculas, moléculas etc.), incluindo o cadastro de usuários com o perfil de professor ou aluno;
- c) Aluno: perfil de usuário com o acesso mais limitado que o do professor, restringindo-se às funcionalidades referentes à alteração das próprias informações (nome, e-mail etc.), incluindo o acesso às aulas nas quais lhe foi concedido acesso, bem como aos relatórios condizentes ao perfil.

Durante a utilização do sistema, os perfis podem ser modificados, sendo adequados às necessidades de cada aula. Determinado usuário, por exemplo, com o perfil de “Professor”, pode ter suas funcionalidades reduzidas, transformando-o em um usuário com o perfil do tipo “Aluno”. O procedimento inverso também é permitido, um usuário com perfil do tipo “Aluno” pode ter suas funcionalidades ampliadas, tornando-o “Professor”.

3.5.2 Fase A – Etapa 2: Desenvolvimento

A etapa de desenvolvimento refere-se, essencialmente, ao planejamento e à criação das aulas. Inicialmente, em outubro de 2021, foram realizadas reuniões com a professora da

disciplina, específicas para definir quais assuntos relacionados à geometria molecular seriam contemplados, a melhor forma de abordá-los, bem como a condução da elaboração de materiais didáticos. Assim, com a intenção de aproximar tanto da abordagem quanto dos conteúdos utilizados normalmente pela professora, optou-se por reproduzir no sistema elementos (textos, moléculas, imagens, problemas...) baseados em seus planos de aula e materiais empregados em sala de aula. A Figura 15 apresenta um segmento inicial do conteúdo, utilizado na aula de geometria molecular, no Sistema MMAR.

Figura 15 – Segmento de conteúdo utilizado na aula de geometria molecular no Sistema MMAR.

Sistema MMAR

Professor logado:
Franciele

MENU

- Home
- Meus Dados
- Grupos
- Usuários
- Categorias
- Softwares
- Moléculas
- Aulas
- Minhas Aulas**
- Minhas aulas
- Relatórios
- Informações

Minhas Aulas

Geometria Molecular

As moléculas são formadas por átomos unidos por ligações covalentes e podem apresentar, na sua constituição, de dois a milhares de átomos. A disposição espacial dos núcleos desses átomos irá determinar **diferentes formas geométricas** para as moléculas.

H₂ **HCl**

H — H H — Cl

Teoria da Repulsão dos Pares Eletrônicos da Camada de Valência

Os pares eletrônicos ao redor de um átomo central, quer estejam ou não participando das ligações, comportam-se como **nuvens eletrônicas** que se repelem entre si, de forma a ficarem orientadas no espaço com a maior distância angular possível.

Nesta teoria, é importante destacar que uma nuvem eletrônica pode corresponder a:

uma ligação covalente simples: — ou → uma ligação covalente dupla: == uma ligação covalente tripla: ≡ um par de elétrons não-ligantes: xx	⇒	 1 nuvem eletrônica
--	---	------------------------

A orientação espacial dessas nuvens dependerá do número total de pares eletrônicos ao redor de um átomo central. A geometria das moléculas, porém, será determinada pela posição dos núcleos dos átomos ligados ao átomo central.

- > Toda molécula formada por **dois átomos** (diatômicas) será sempre **linear**, pois seus núcleos estarão obrigatoriamente alinhados.
- > Ao redor do átomo central, os pares eletrônicos ligantes e os não-ligantes se repelem, tendendo a ficar tão afastados quanto possível.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para melhor organizar o conteúdo, foram planejadas e concebidas três aulas (módulos) no Sistema MMAR. A primeira, denominada “Geometria Molecular”, contém o segmento teórico/conceitual, relacionado à geometria molecular (Figura 15), contemplando exemplos de modelos moleculares que utilizam RA. A segunda e a terceira aula, intituladas respectivamente, “Problemas 1” e “Problemas 2”, abrangem conjuntos de problemas específicos de geometria molecular, permitindo que seja usada a tecnologia de RA para auxiliar em suas resoluções.

As aulas concebidas no sistema, em seu formato completo, permitem aos alunos o diálogo com os mesmos materiais didáticos contemplados nas aulas regulares, porém, expostos e acessíveis de forma diferenciada. Sendo assim, além de textos e imagens, um conjunto de moléculas 3D (Tabela 8), também ficou disponível para compor as aulas de geometria molecular.

Tabela 8 – Conjunto de moléculas disponíveis para integrar as aulas de geometria molecular.

Moléculas		
<i>Geometria Molecular</i>	<i>Nome</i>	<i>Fórmula Molecular</i>
Linear	Acetileno	C₂H₂
	Ácido bromídrico	HBr
	Dinitrogênio	N₂
	Dióxido de carbono	CO₂
	Dissulfeto de carbono	CS₂
Angular	Difluoreto de oxigênio	OF₂
	Dióxido de enxofre	SO₂
	Óxido de dihidrogênio	H₂O
	Sulfeto de hidrogênio	H₂S
	Trioxigênio	O₃
Trigonal	Triidridoboro	BH₃
	Tricloreto de boro	BCl₃
	Trióxido de nitrogênio	NO₃⁻
	Trifluoreto de boro	BF₃
	Trióxido de enxofre	SO₃
Piramidal	Amônia anidra	NH₃
	Cloreto de tionila	SOCl₂
	Hidreto de fósforo	PH₃

	Tricloreto de fósforo	PCl₃
	Tricloreto de nitrogênio	NCl₃
Tetraédrica	Cloreto de metila	CH₃Cl
	Perclorato	ClO₄⁻
	Metano	CH₄
	Tetracloro de carbono	CCl₄
	Trifluoreto de tiazilo	SNF₃

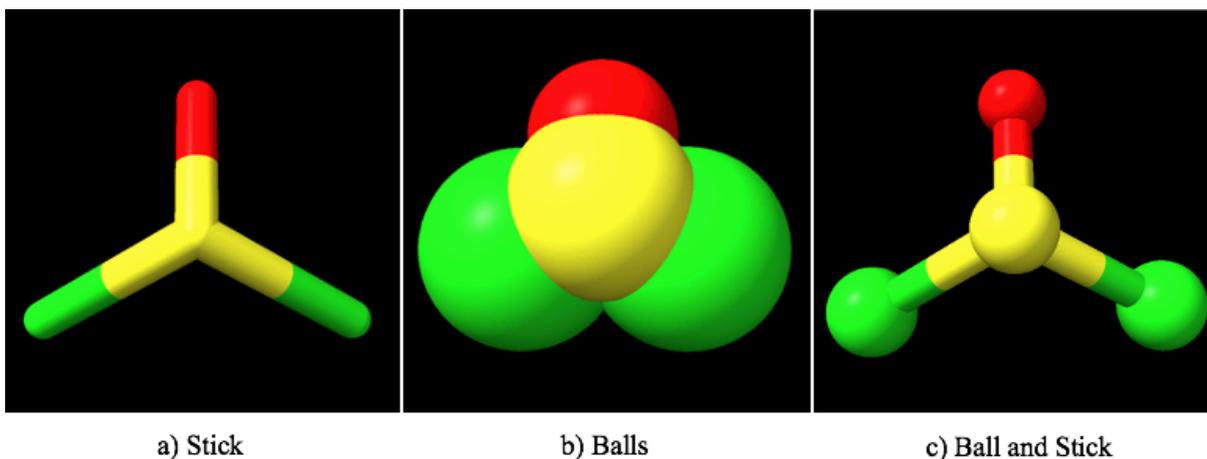
Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora o início do planejamento e elaboração das aulas tenham iniciado em outubro de 2021, tornou-se necessário que as escolhas das moléculas ocorressem posteriormente ao início das aulas. Esse critério adotado buscou prudência em relação ao conhecimento dos alunos, uma vez que, a professora somente poderia ter a compreensão da capacidade e competência dos estudantes na disciplina de Química, no momento em que os mesmos fossem avaliados. Então, consequentemente, essa avaliação apenas poderia ocorrer com a disciplina em andamento.

Com a avaliação do conhecimento dos alunos, algumas moléculas pensadas nas primeiras reuniões foram desconsideradas, entre elas H₂CO₃, HNO₃, C₂H₄ e C₂H₆. De acordo com a professora, para a aprendizagem da geometria molecular utilizando essas moléculas, seria necessário um período mais longo de aulas e que isso iria de encontro ao planejamento realizado para a condução dos tópicos da disciplina de Química. A Tabela 8, dessa forma, apresenta a coleção definitiva de moléculas disponíveis, apreciadas após o início das aulas, nos meses de março e abril de 2022.

As moléculas expostas na Tabela 8 estão classificadas nas cinco principais formas geométricas, utilizadas nas aulas regulares: Linear, Angular, Trigonal, Piramidal e Tetraédrica. Cada forma geométrica considera um grupo de cinco moléculas, selecionadas a partir dos materiais didáticos empregados em aula, totalizando, vinte e cinco moléculas. Cada molécula, por sua vez, é representada por três modelos tridimensionais distintos, apresentados na Figura 16 (molécula de cloreto de tionila): *Stick*, *Balls* e *Ball and Stick*. A aula no Sistema MMAR, dessa forma, abrange setenta e cinco diferentes modelos moleculares.

Figura 16 – Modelos de representação da molécula de cloreto de tionila (SOCl_2).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a finalidade de demonstrar a manipulação de modelos moleculares de maior complexidade, por meio do uso da RA, foram acrescentadas aulas consideradas “complementares”, denominadas Aula Complementar I e Aula Complementar II. A primeira contemplou moléculas com um número maior de átomos, comparadas as trabalhadas no tópico geometria molecular, como a molécula betacaroteno, cafeína, clorofila, L-leucina e paracetamol (totalizando 30 moléculas). A segunda envolveu 12 macromoléculas, como a proteína hemoglobina e o vírus SARS-CoV-2.

O processo de produção de cada molécula deu-se a partir de seu respectivo arquivo SDF (*Structure Data File*), que contém a descrição de sua estrutura 3D. O *software* UCSF ChimeraX⁴ foi utilizado para trabalhar com os arquivos SDF, gerar os modelos moleculares e, logo após, exportá-los para o formato .glTF. Para corrigir e/ou melhorar aspectos relacionados à renderização, como brilho, iluminação, sombreado, posicionamento e *aliasing*, os modelos moleculares (arquivos .glTF) foram editados no *software* Blender⁵ e, por fim, importados pelo Sistema MMAR.

3.5.3 Fase A – Etapa 3: Avaliação

A Etapa 3 refere-se à avaliação tanto dos recursos gerais do ambiente educacional, como o módulo de RA, quanto da percepção do material didático que estava em desenvolvimento. O processo de avaliação foi essencial para a concretização de correções e melhorias relacionadas

⁴ <https://www.cgl.ucsf.edu/chimerax>

⁵ <https://www.blender.org>

ao material didático e ao próprio sistema. Nesta etapa foram realizadas reuniões com a professora da disciplina de Química, onde elementos como textos, imagens e moléculas eram discutidos e avaliados, considerando aspectos como relevância pedagógica, sequência de apresentação, qualidade visual e disposição no *layout*.

Questões relacionadas ao Sistema MMAR também foram avaliadas. Para tanto, a professora da disciplina relatava, nas reuniões com o pesquisador, o que poderia ser corrigido ou melhorado no sistema. Paralelamente a esse procedimento, o pesquisador realizou testes no sistema (simulações), utilizando perfis de professor e de aluno, na tentativa de encontrar pontos a serem melhorados e/ou corrigidos, que também eram considerados nas reuniões. Após seis reuniões, realizadas no período de novembro de 2021 a janeiro de 2022, foram avaliados diversos aspectos, sendo as principais correções e/ou melhorias, apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Principais correções e/ou melhorias.

<i>Recursos</i>	<i>Correção e/ou melhoria</i>
Ambiente educacional (Sistema MMAR)	Atualização do marcador disponível para <i>download</i> na página principal.
	Redução do espaço entre os nomes das moléculas (no final de cada aula).
	Inclusão da interface de RA no momento da edição de cada molécula.
	Retificação do evento “clique” no nome das moléculas (em cada aula), pois ao realizar um “clique” a página retornava ao topo.
	Melhora do recurso de rotação da molécula, com a opção de animação nos eixos x, y e z (interface de RA).
	Melhora do recurso maximizar e minimizar a escala das moléculas (interface de RA).
Material didático	Padronização das fontes nos textos (tipo da fonte, cor e tamanho).
	Modificação (melhoria de resolução) de imagens nos textos.
	Inclusão de imagem que sintetiza os cinco tipos de geometria molecular.
	Criação de duas aulas (módulos) específicas para exercícios.
	Adição de dois modelos de representação molecular (<i>Stick e Balls</i>).
	Padronização de cinco moléculas para cada tipo de geometria molecular.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 9 expõe como exemplo 12 itens, representando as principais correções e/ou melhorias. Estas estão divididas em dois grupos: as relacionadas ao ambiente educacional (Sistema MMAR), como a melhora do recurso de rotação da molécula e; as vinculadas ao material didático, como a adição de dois modelos de representação molecular (*Stick e Balls*). Assim, após seis ciclos de interação entre as etapas, foi possível obter uma versão aperfeiçoada

do Sistema MMAR, bem como um material didático diferenciado, alinhado às necessidades do público-alvo e à metodologia de ensino da professora.

3.5.4 Fase B – Etapa 1: Preparação

Esta etapa refere-se à preparação para a condução dos experimentos. Após o cumprimento das etapas que integram a Fase A, novas reuniões ocorreram durante os meses de março e abril de 2022 entre o pesquisador e a professora. Essas reuniões objetivaram, não somente, mas também, definir aspectos relacionados tanto à organização das moléculas e escolha dos problemas empregados nas entrevistas quanto à preparação do local de realização do experimento. Esses aspectos foram segmentados em duas categorias, discutidas na sequência.

3.5.4.1 Definição e Organização das Moléculas

Como uma coleção de moléculas já estava disponível para ser associada às aulas de geometria molecular (Tabela 8), foi necessário definir quais moléculas seriam utilizadas como exemplos, como problemas para a primeira aula e como problemas para a segunda aula (Tabela 10). Para tanto, a professora considerou ser interessante integrar um conjunto de sete moléculas à aula conceitual para a realização de exemplos, assim, seria possível explicar o conteúdo teórico e, simultaneamente, demonstrar por meio da RA as moléculas relacionadas ao assunto.

Tabela 10 – Moléculas utilizadas como exemplos e como problemas.

Aula (Módulo)	Molécula
Exemplos	C_2H_2 , CS_2 , OF_2 , O_3 , CCl_4 , PH_3 , NO_3^-
Problemas – 1ª Aula	N_2 , H_2S , BF_3 , NH_3 , BH_3 , PCl_3 , ClO_4^- , CH_4
Problemas – 2ª Aula	CO_2 , H_2O , SO_3 , CH_3Cl , $SOCl_2$, BCl_3 , NCl_3 , SNF_3

Fonte: Elaborado pelo autor.

As moléculas utilizadas como exemplo são exibidas no Sistema MMAR, no final da aula conceitual, como mostra a Figura 17. A professora, da mesma forma, selecionou oito moléculas para comporem a lista de problemas da primeira aula (Problemas – 1ª Aula) e outras oito moléculas para comporem os problemas da segunda aula (Problemas – 2ª Aula).

Figura 17 – Moléculas utilizadas como exemplo.

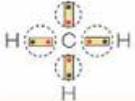
Sistema MMAR

Professor logado:
Franciele

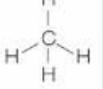
MENU

- Home
- Meus Dados
- Grupos
- Usuários
- Categorias
- Softwares
- Moléculas
- Aulas
- Minhas Aulas
- Minhas aulas
- Relatórios
- Informações

átomo **A** no centro de um tetraedro



4 átomos ligantes



tetraédrica

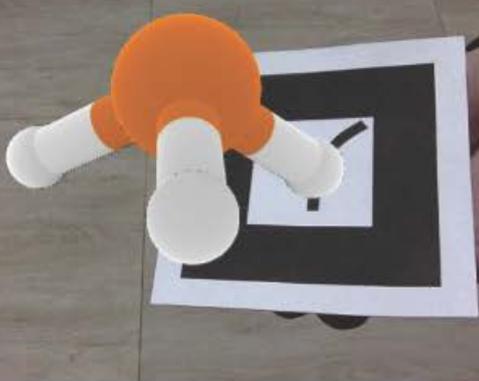
Molécula: Hidreto_%_fósforo (PH₃)

https://www.mazzuco.xyz/mmar/admin/s

Moléculas:

- Acetileno (C₂H₂)
- Acetileno (C₂H₂)
- Acetileno (C₂H₂)
- Difluoreto de...
- Difluoreto de...
- Difluoreto de...
- Difluoreto de...
- Dissulfeto de...
- Dissulfeto de...
- Dissulfeto de carbono (CS₂) (S)
- Hidreto de fósforo (PH₃) (B)
- Hidreto de fósforo (PH₃) (BS)

Resumo:
O Hidreto de Fósforo, também conhecido por Fosfina ou, ainda, pelo seu nome IUPAC fosfano e, eventualmente, fosfamina.



Descrição:
O **Hidreto de Fósforo**, à pressão ambiente, é um **gás incolor inflamável** cujo ponto de ebulição é de -88 °C. A fosfina **pura é inodora**, mas em seu estado técnico apresenta um cheiro bem desagradável de peixe podre. Comumente **utilizado na agricultura no formato de pastilhas**, o hidreto de fósforo é **utilizado na atividade de expurgo de sementes ou grãos, erradicando ou minimizando pragas de armazenagem**. Após aplicado, o composto químico é volatilizado e necessita agir no mínimo por 168 horas, umidade acima de 25% e temperatura acima de 10 °C.

Molécula exportada pelo software: **UCSF ChimeraX**

Realidade Aumentada

Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo de repulsão dos pares de elétrons da camada de valência foi utilizado na busca por prever a geometria molecular, por meio da repulsão eletrostática dos elétrons da camada de valência. Ao encerrar o processo de organização das moléculas, a professora foi convidada a selecionar quatro moléculas, que fariam parte das entrevistas (Tabela 11), onde os alunos eram solicitados a resolverem os problemas que continham essas moléculas. O critério de decisão de quais moléculas seriam utilizadas seguiu a proposta de Weinrich e Seviran (2017). Assim, para a entrevista após a primeira aula, a professora escolheu uma molécula que o aluno havia trabalhado nessa aula e outra com um grau de complexidade semelhante, mas que ele não tivesse visto em aula.

O mesmo processo foi repetido para a escolha das moléculas utilizadas nas entrevistas subsequentes à segunda aula. Primeiramente, foi escolhida uma molécula estudada pelos alunos nessa aula e, posteriormente, outra que não haviam visto. A intenção seria que a professora selecionasse quatro moléculas que considerasse um bom indicador do entendimento geral do estudante em relação ao material abordado em aula. E, caso necessário, pudesse avaliar a compreensão geral de cada aluno com base nessas moléculas. Ou, ainda, poderia ser pensado no sentido de que, caso, houvesse pouco tempo para a professora realizar uma avaliação e somente uma pequena parte dela poderia ser aplicada: quais as quatro moléculas que melhor avaliariam o domínio dos alunos em relação ao material abordado? Também, foi pedido que a professora resolvesse os problemas escolhidos, detalhando o processo de resolução.

Tabela 11 – Moléculas utilizadas nas entrevistas.

Primeira Aula		Segunda Aula	
1A	2A	1B	2B
NH ₃	SO ₂	H ₂ O	SiO ₂

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 11 apresenta as moléculas selecionadas pela professora para serem utilizadas como problemas nas entrevistas após as aulas. Problemas que iniciam com o número “1” correspondem a problemas que os alunos já haviam trabalhado em aula, diferentemente dos que principiam com o número “2”, que simbolizam problemas que os estudantes não tiveram contato (inéditos). Os que possuem a letra “A” em sua nomenclatura foram problemas contemplados nas primeiras aulas (primeiro encontro), já os que contêm a letra “B”, foram abordados nas aulas seguintes (segundo encontro). É relevante observar que as moléculas 2A e

2B, presentes na Tabela 8, não foram consideradas como opções para integrarem as aulas, tornando-se, assim, desconhecidas pelos estudantes.

3.5.4.2 Preparação do Local de Realização do Experimento

Para a execução do experimento foi necessário utilizar três diferentes locais no IFFar. Duas salas de aulas, relativas às turmas que participaram da pesquisa, foram usadas para a realização das aulas tradicionais. Estas salas já possuíam os requisitos necessários para esse formato de aula, como quadros brancos e projetores multimídia.

Por outro lado, a escolha do local das aulas que fariam uso do Sistema MMAR tornou-se restrita, pois como todos os alunos (incluindo a professora) utilizariam individualmente a interface de realidade aumentada, seria necessário, no mínimo, um quantitativo de 25 *webcams* ou dispositivos providos de *webcams* (como *notebooks*, *netbooks* ou computadores do tipo *All in One*). Uma vez que a Instituição não era equipada com o número de dispositivos com *webcam* integrada e sequer havia o montante de *webcams* necessário, o pesquisador optou por adquirir, por meio de recursos próprios, 24 *webcams Full HD*, destinadas aos alunos. A professora, por sua vez, utilizaria o dispositivo do pesquisador (*notebook*). No início do mês de março de 2022, a professora realizou a reserva de um laboratório de informática da Instituição, contendo 30 computadores (configurações descritas na Tabela 12), para os dois dias em que as aulas seriam ministradas (2 e 9 de maio de 2022), utilizando o Sistema MMAR. Como as datas corresponderam a duas segundas-feiras e as aulas seriam no turno da manhã, houve a necessidade de preparar o laboratório nos sábados imediatamente anteriores.

Tabela 12 – Configurações dos equipamentos utilizados na aula com RA.

Aspectos	Computador	Notebook
Fabricante	Dell	Apple
Modelo	Optiplex 790	MacBook Pro
Sistema Operacional	Windows 7 Prof.	High Sierra
Processador	Intel I5-2400	Intel Core I5
Memória	8GB	8GB
Armazenamento	1TB	250GB
Monitor/Display	22"	13"

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos dois sábados em que o laboratório de informática foi organizado, todas as *webcams* foram instaladas e, na sequência, o Sistema MMAR foi acessado em todos os 24 computadores, com a interface de RA sendo testada. Entre os 30 computadores testados, um total de 5 apresentaram algum tipo de problema de funcionamento e não puderam ser utilizados.

Por fim, cada computador ficou acompanhado de um marcador, sendo necessário confeccionar 25 marcadores: 24 marcadores destinados aos alunos e um marcador designado à professora. Os marcadores são indispensáveis para manipular objetos virtuais quando a interface de RA é utilizada, e seguiram o modelo adotado por (MAZZUCO, 2017), conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Marcadores utilizados no experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os marcadores apresentam uma superfície impressa (imagem do marcador) em folha do tipo A4 de aproximadamente 9cm X 9cm, fixada sobre uma superfície de cartolina do mesmo tamanho e, por fim, esta é presa em um cilindro de aproximadamente 4cm. A imagem do marcador, dessa forma, permanece em uma superfície plana e consistente, propiciando que o próprio marcador seja facilmente manipulado (sendo manuseado por meio do cilindro) e, ainda, permitindo que sejam executados, confortavelmente, movimentos de rotação sem grandes limitações.

3.5.5 Fase B – Etapa 2: Condução das Aulas

A definição das datas para a realização das aulas ocorreu na primeira semana do mês de março de 2022, ficando estabelecido que as primeiras aulas ocorreriam no dia 2 de maio e as demais no dia 9 de maio. No início do mês de abril, a professora expôs aos alunos os principais conceitos e propósitos da pesquisa e evidenciou que a participação seria voluntária, que não

haveria qualquer tipo de benefício, como remunerações ou ganho de notas. O Termo de Assentimento Livre e Esclarecido e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido dos responsáveis foram entregues aos alunos de ambas as turmas no dia 18 de abril, sendo orientados a devolverem os termos devidamente assinados no dia 2 de maio.

Duas turmas do segundo ano do curso técnico em eventos integrado ao ensino médio participaram do experimento, uma contendo 23 e outra, 24 estudantes. Cada turma representou um grupo distinto de estudantes, Grupo I e Grupo II, respectivamente.

Os termos foram entregues para 12 alunos do Grupo I e para 13 do Grupo II, no entanto, 10 alunos de cada grupo retornaram os termos adequadamente assinados. No final da primeira aula, um aluno do Grupo II pediu para se retirar da pesquisa, afirmando que não gostaria de participar das entrevistas. Um segundo aluno do mesmo grupo não compareceu para realizar a primeira entrevista, não informando o motivo da desistência. Todos os alunos do Grupo I, participantes do experimento, estiveram presentes na primeira aula, porém 2 deles ausentaram-se da segunda aula e foram retirados da pesquisa. Dessa forma, 16 alunos compuseram os grupos amostrais, representados na Tabela 13.

Tabela 13 – Composição dos grupos amostrais.

Grupos	Gênero			Idade	
	Feminino	Masculino	Total	16 anos	17 anos
Grupo I	6	2	8	7	1
Grupo II	4	4	8	5	3
Total	10	6	16	12	4

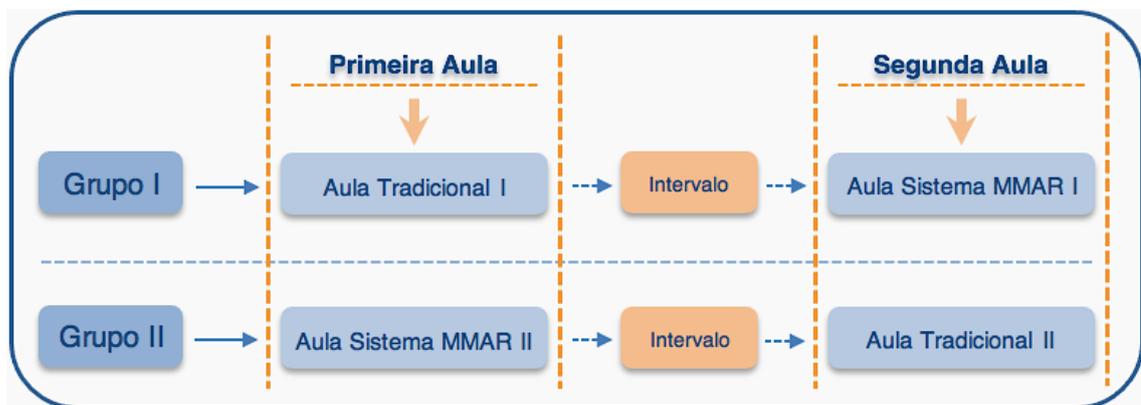
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 13 é possível perceber que o gênero feminino representa a maioria dos participantes, envolvendo 10 estudantes (62,5%) e, ainda, que o maior número de alunos (12, 75%) possui 16 anos. É importante observar que não foram realizados processos de uniformização na tentativa de equiparar o quantitativo de participantes do gênero feminino e masculino, bem como do número de integrantes com idade de 16 anos e de 17 anos. Essa preocupação não foi considerada devido ao objetivo dessa pesquisa não estar direcionada ao desenvolvimento do processo de abstração segmentado por gênero ou por idade, mas sim à ocorrência do processo de abstração em si.

3.5.5.1 Execução das Aulas

As aulas seguiram o formato presencial de ensino da Instituição, onde ocorreu a pesquisa. Os Grupos I e II tiveram processos de conduções distintos, conforme apresentados na Figura 19. A primeira aula no formato tradicional (Aula Tradicional I) e a primeira aula utilizando recursos de realidade aumentada (Aula Sistema MMAR II) foram ministradas no dia 2 de maio de 2022, pelo turno da manhã. O Grupo I iniciou com a professora ministrando a Aula Tradicional I na primeira parte da manhã e, na sequência, na segunda parte da manhã, a professora desenvolveu a Aula Sistema MMAR II com Grupo II.

Figura 19 – Processos de condução das aulas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após uma semana de intervalo, no dia 9 de maio de 2022, também pelo turno da manhã, houve o procedimento inverso: o Grupo I iniciou com a professora ministrando a Aula Sistema MMAR I na primeira parte da manhã e, a seguir, na segunda parte da manhã, a professora desenvolveu a Aula Tradicional I com o Grupo II. Todas as aulas tiveram duração de 1h30min e foram presencialmente acompanhadas pelo pesquisador.

Tanto nas aulas no formato tradicional quanto nas aulas com o Sistema MMAR, no primeiro encontro, a professora fez uma breve explanação sobre a pesquisa, relacionando-a com sua matéria, mais especificamente, com as aulas que seriam ministradas. Em seguida, o pesquisador, contextualizou o estudo, bem como a utilização do sistema, abordando sua origem, motivo de seu desenvolvimento e algumas tecnologias envolvidas (como a realidade aumentada). Sob outra perspectiva, no segundo encontro, os estudantes somente foram lembrados da continuidade da pesquisa e da importância da participação de todos.

A condução das atividades na aula tradicional seguiu o modelo habitual adotado pela professora em sala de aula. Foram mantidos os mesmos métodos pedagógicos, materiais didáticos e recursos como quadro branco e projetor multimídia. Como pode ser percebido na Figura 20, a professora utilizou balões para representar as nuvens eletrônicas que compõem cada molécula, na tentativa de demonstrar visualmente os tipos de geometria molecular. Durante o desenvolvimento dessa metodologia didática, além da professora, alguns alunos também manusearam balões, buscando identificar e caracterizar cada tipo de geometria molecular.

Figura 20 – Aula tradicional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação às aulas utilizando realidade aumentada (Aula Sistema MMAR I e Aula Sistema MMAR II), para melhor conduzir a execução das aulas previstas para esta pesquisa no

Sistema MMAR, foi utilizado um roteiro, constituindo, assim, um percurso pedagógico cumprido pelos alunos, conforme apresentado na Tabela 14.

Ao chegarem no laboratório de informática, com a professora, os alunos foram recepcionados pelo pesquisador e convidados a escolherem, aleatoriamente, um computador. Após as explanações iniciais receberam instruções para acessarem o Sistema MMAR, como o endereço, usuário e senha. A partir deste momento, conforme a percurso pedagógico proposto, realizaram o acesso ao Sistema MMAR, receberam instruções iniciais do sistema (e sua contextualização), bem como orientações a respeito da utilização da interface de RA por meio do uso de marcadores. Na sequência, os estudantes receberam as instruções relacionadas às atividades (item 4 da Tabela 14), referente aos problemas que eles deveriam responder enquanto utilizavam o sistema, fazendo uso da interface de RA. Enquanto resolviam os problemas, os alunos tiveram a liberdade para consultar qualquer material, inclusive o completo conteúdo relacionado às aulas, como textos e imagens, que também estava disponível no sistema.

Tabela 14 – Percurso pedagógico cumprido pelos alunos.

Item	Atividade	Descrição
1	Acesso ao Sistema MMAR	Por meio do navegador (Google Chrome ou Mozilla Firefox), o aluno realiza o acesso ao Sistema MMAR.
2	Introdução ao sistema	Realizado o acesso (com o usuário já autenticado), o aluno recebe as instruções iniciais do sistema, bem como sua contextualização.
3	Utilização da interface de RA	Os alunos são instruídos a utilizarem a interface de realidade aumentada, realizando exercícios com marcadores.
4	Instruções das atividades	Antes dos alunos acessarem a seção “Minhas Aulas”, estes recebem instruções referentes às atividades que deveriam ser realizadas.
5	Acesso às aulas	Acessando as aulas, os alunos têm liberdade para visualizar o conteúdo de cada aula, bem como manipular qualquer molécula, por meio da interface de Realidade Aumentada.
6	Acesso às aulas complementares	Possibilidade de acesso às aulas complementares, contendo moléculas como Sars-CoV-2, para exemplificar o uso do sistema na manipulação de modelos moleculares maiores (de maior complexidade).
7	Finalização do acesso	Após a realização das atividades, os alunos são informados a saírem do sistema.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a intenção de demonstrar a manipulação de modelos moleculares de maior complexidade, por meio do uso da RA, foram acrescentadas aulas consideradas

“complementares” (item 6 da Tabela 14): Aula Complementar I e Aula Complementar II. A primeira abrangeu 30 moléculas contendo um número maior de átomos, quando comparadas as trabalhadas em aula, como a molécula betacaroteno e cafeína. A segunda envolveu 12 moléculas com um número grande de átomo, como as macromoléculas proteína do tipo hemoglobina e o vírus SARS-CoV-2 da família Coronavírus. Foram destinados 10 minutos no final da Aula Sistema MMAR I e da Aula Sistema MMAR II para que os estudantes explorassem as aulas complementares.

Durante as aulas com o Sistema MMAR, o conteúdo foi ministrado de forma análoga ao da aula tradicional, a mudança ocorrida deu-se em relação à forma da apresentação do mesmo. Como a material da aula tradicional foi reproduzido no sistema, a professora pôde seguir a mesma metodologia pedagógica para explicar o conteúdo, que foi projetado (utilizando um projetor multimídia) diretamente do Sistema MMAR. A professora, dessa forma, teve a possibilidade de apresentar os exemplos de cada tipo de geometria molecular, utilizando a interface de RA, durante as exposições conceituais. Os estudantes, do mesmo modo, foram capazes de fazer uso da interface de RA enquanto resolviam os problemas (Figura 21).

Figura 21 – Alunos utilizando a interface de realidade aumentada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

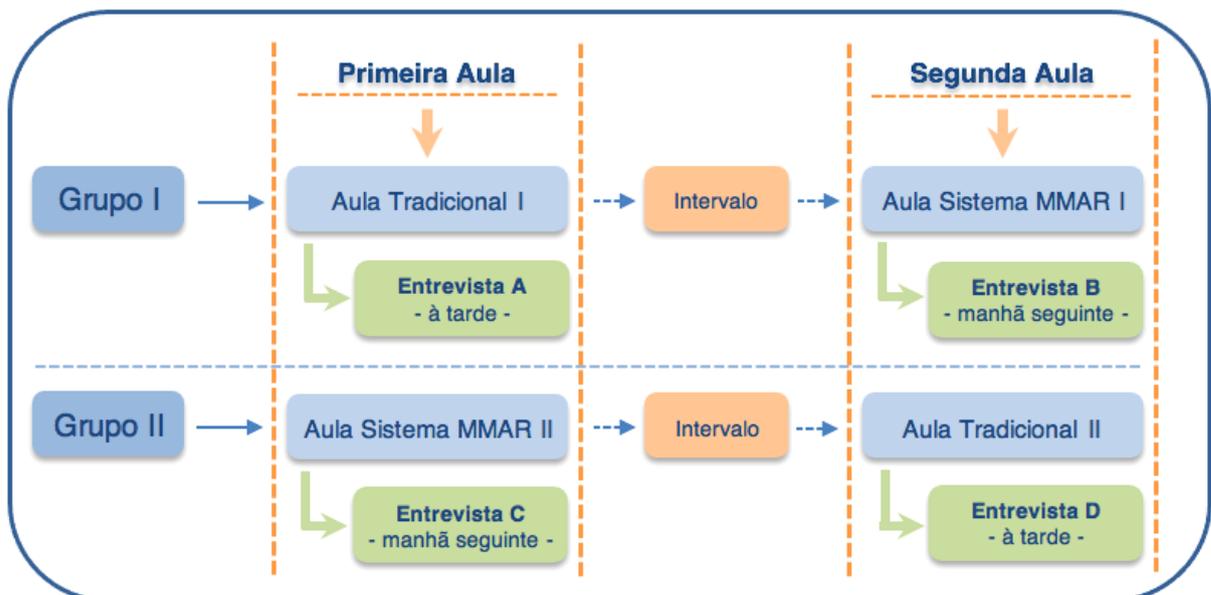
No decorrer dos encontros, Aula Sistema MMAR I e Aula Sistema MMAR II o pesquisador se absteve de intervir, de qualquer forma, no processo de ensino, permanecendo tão somente como observador. Apenas em poucas circunstâncias, quando os estudantes solicitavam algum tipo de auxílio relacionado ao uso do Sistema MMAR ou da própria interface de RA, o pesquisador assistia de forma breve, evitando interferências que pudessem modificar andamento da aula.

Após as aulas, foram agendadas entrevistas com cada aluno participante da pesquisa, conforme descritas a seguir.

3.5.5.2 Condução das Entrevistas Semiestruturadas

As entrevistas semiestruturadas ocorreram de forma individualizada, envolvendo os 8 alunos de cada grupo. Foram agendadas diretamente com cada estudante participante da pesquisa, após o término de cada aula, antes que se retirassem do local onde a aula estava sendo ministrada. A estratégia de execução das entrevistas (Figura 22) buscou contemplar um esquema que evitasse prejuízos aos alunos, visto que o curso técnico em eventos integrado ao ensino médio compreende aulas tanto pelo turno da manhã quanto pelo turno da tarde.

Figura 22 – Estratégia de execução das entrevistas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi estabelecido, portanto, que posteriormente à primeira aula (Aula Tradicional I) o Grupo I seria entrevistado, durante à tarde do mesmo dia e que da mesma forma, após a Aula Sistema MMAR II, o Grupo II seria entrevistado na manhã do dia subsequente. Na semana seguinte, houve uma alteração na ordem das entrevistas: após a segunda aula (Aula Sistema MMAR II), o Grupo I seria entrevistado na manhã do dia seguinte e, igualmente, esse processo seria repetido ao Grupo II, porém sendo à tarde do mesmo dia da Aula Tradicional II. Os alunos, desse modo, além de terem oportunidades iguais de entrevistas, não foram prejudicados por serem retirados duas vezes seguidas das mesmas disciplinas.

As entrevistas foram realizadas em uma sala localizada no terceiro andar do Prédio 2 da Instituição onde ocorreu a pesquisa, situada em uma ala cuja constituição é direcionada a laboratórios e salas de reuniões. Na sala havia bancadas de computadores com suas respectivas cadeiras, que contornavam suas paredes e no centro uma grande mesa redonda, empregada tanto para apoiar o dispositivo de gravação quanto para os entrevistados efetuarem suas anotações. Ao lado deste, também fazendo uso da mesma mesa, o pesquisador conduzia a entrevista. Este também utilizou seu *notebook* (Tabela 12) como dispositivo de gravação e para a captura e reprodução de áudio e vídeo foi usado o *software* Debut⁶.

No momento em que os entrevistados chegavam à sala, o pesquisador recepcionava-os, solicitando que sentassem e, posteriormente, eram informados de como a entrevista seria conduzida. Em razão de diversos estudantes apresentarem-se nervosos e inquietos, foi preciso realizar conversas buscado tranquilizá-los. Assim, no momento em que era perceptível que estavam mais calmos e confiantes, iniciavam-se as entrevistas.

As entrevistas foram conduzidas fazendo com que os alunos descrevessem, de modo natural, seus respectivos processos de resolução de problemas relacionados à geometria molecular. Ao começar a entrevista, o aluno recebia uma folha contendo o primeiro problema a ser resolvido, problema este já conhecido (visto em aula) e solicitado que o resolvesse da forma que ponderasse ser conveniente. Após o término, o estudante era convidado a escrever o tipo de geometria molecular e, logo, explicar como ele partiu da fórmula molecular e chegou àquela resposta. Ao concluir esta etapa, o aluno recebia uma folha adicional, que apresentava o segundo problema, este desconhecido, ainda não visto e, então, o processo era repetido: iniciava escrevendo a resolução bem como tipo de geometria molecular e, posteriormente, explanava como chegou à solução.

⁶ <https://debut-video-capture.br.uptodown.com/>

Durante a entrevista, após descrever como foi realizado o processo de resolução de cada problema, para auxiliar na identificação e/ou na complementação de informações relacionadas às representações de nova instância e às representações do conhecimento armazenado, foi realizada uma atividade de apoio à entrevista (Apêndice IV). Esta atividade foi entregue ao aluno no formato impresso, sendo que a partir da construção de sua solução, em voz alta, teve início um diálogo com o pesquisador. Dessa forma, além de auxiliar na compreensão das representações, ajudou os alunos a expressarem como solucionaram os problemas, caso, inicialmente, não tivessem conseguido. Na atividade estavam contidas algumas opções, relacionadas a possíveis formas de abordagem das questões, para apoiar os estudantes na descrição dos problemas e, inclusive, na classificação da utilização dessas opções (caso fossem usadas).

Entre as opções fornecidas na atividade de apoio estavam, por exemplo, “observei o número de ligações que cada átomo faz”, “determinei qual é o átomo central” e “imaginei a molécula e pensei nas geometrias possíveis, considerando o número de átomos envolvidos”. A atividade de apoio também permitiu que os estudantes afirmassem ou justificassem fatos, relações ou conceitos condizentes aos conhecimentos já adquiridos na disciplina.

Para auxiliar procedimento de entrevista, foi utilizado um roteiro (Apêndice V) com questões relacionadas ao entendimento dos processos de resolução de problemas, sendo composto por perguntas como: “Como você realizou esta etapa (ideia explicada pelo aluno)?”, “Como isso se compara a outros problemas que você viu?”, “De que forma isso é semelhante/diferente de outros problemas que você viu?” e “Qual foi a parte mais fácil/difícil do problema?”.

A seguir é apresentado o quarto capítulo, referente à análise e discussão dos resultados obtidos por meio dos estudos realizados.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos estudos conduzidos nesta tese. Inicia-se com uma seção introdutória, apresentando as principais informações em relação aos dados coletados bem como ao processo de extração e análise. Na sequência, para otimizar a organização, a análise dos resultados e suas discussões são estruturados de acordo com os objetivos específicos e, assim, segmentados nas seguintes seções: i) investigação do processo de abstração dos estudantes ao resolverem problemas de geometria molecular; ii) identificação dos processos de raciocínio usados pelos alunos na resolução de problemas de geometria molecular e; iii) reconhecimento de ocorrências de padrões entre aspectos como nível de abstração, modo de abstração, processo de raciocínio, média de notas e acertos na resolução de problemas de geometria molecular.

4.1 Dados Coletados e o Processo de Extração e Análise

Esta seção objetiva apresentar informações relacionadas aos dados coletados e aos processos de extração e análise. O principal recurso utilizado para a coleta de dados foram as entrevistas semiestruturadas, juntamente com o conjunto de descrições (resolução dos problemas) e as atividades de apoio à entrevista (Apêndice IV) realizadas por cada estudante.

Cada entrevista envolveu a resolução de dois problemas e gerou um arquivo único de áudio e vídeo. Ao finalizar as 32 gravações utilizando o *software* Debut, foram gerados 8,49GB de informações a serem analisadas, com uma média de 263,63MB por arquivo. O tempo total das entrevistas foi de 7 horas 37 minutos e 12 segundos, com uma média de 14 minutos e 17 segundos por entrevista. Visto que cada uma das 32 entrevistas contemplou a resolução de dois problemas, foram analisados 64 problemas. Como foi necessário identificar a **representação de nova instância** e a **representação do conhecimento armazenado** de cada problema, foram observados 128 episódios relacionados às representações, sendo 64 episódios condizentes a cada tipo de representação.

Os estudantes também construíram um conjunto de descrições que representa a resolução de cada problema. Dessa forma, cada entrevista gerou duas laudas distintas de anotações, totalizando 64 laudas. Por fim, após a resolução dos dois problemas, uma atividade de apoio à entrevista de forma impressa foi realizada, completando outras 32 folhas de atividades.

Após a reunião de todo o material gerado pelas entrevistas, o pesquisador foi responsável pelos procedimentos de extração e organização dos dados, contudo, o processo de análise incluiu a participação de dois docentes: a professora titular da disciplina de Química do IFFar, em cujas aulas a pesquisa foi realizada, com titulação de doutora e com mais de 3 anos de experiência e; um professor (convidado) também com título de doutor e titular da disciplina de Química do IFFar, com um período superior a 10 anos de docência.

Inicialmente, as gravações de áudio foram transcritas enquanto o pesquisador, simultaneamente, assistia aos vídeos observando as respectivas anotações dos alunos. Para cada entrevista foi gerado um documento de texto, segmentado em duas seções: uma destinada à transcrição do primeiro problema e outra dirigida à transcrição do segundo problema. Paralelamente, em outro arquivo de texto, foi escrito um resumo descrevendo o processo de solução do aluno, contendo anotações e trechos de transcrições em destaque. Na sequência, a estrutura de mapeamento de representação (Hahn e Chater, 1998; Sevian *et al.*, 2015) foi aplicada para realizar a análise dos dados. Esse processo compreendeu a identificação da representação de conhecimento armazenado e a representação de nova instância do estudante, como essas representações foram combinadas (modo de abstração) e o nível de abstração em cada representação.

Logo após a compilação das descrições dos processos de solução, para identificar a representação do conhecimento armazenado, foi necessário observar o tipo de informação que o aluno utilizou, empregada como principal recurso na resolução do problema. Geralmente os alunos recorriam a diferentes tipos de informações, que foram agrupados em categorias, apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Categorias de tipos de informações adotadas como recurso de resolução.

Nº	Categorias
1	Níveis de energia;
2	Pares de elétrons livres;
3	Ângulos de ligações;
4	Nuvens eletrônicas (quantitativos e/ou posicionamentos);
5	Repulsão entre nuvens eletrônicas;
6	Fórmula de Lewis (estrutural da molécula);
7	Desenho e/ou imagem mental da molécula;
8	Exemplos e exercícios trabalhados em aula;

9	Relações com outras moléculas ou modelos;
10	Demais informações utilizadas para resolver o problema.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A representação de nova instância foi definida analisando as informações que o aluno observou ao resolver o problema, assim, a forma como o estudante descreveu o problema orientou sua caracterização. Foi necessário, portanto, primeiramente, identificar as inúmeras formas como cada estudante reproduziu os problemas e, posteriormente, agrupá-las em categorias (apresentadas na Tabela 16). Desse modo, mesmo que frequentemente os alunos não fossem capazes de descrever suas representações de nova instância com tantos detalhes quanto a representação do conhecimento armazenado, esse procedimento de análise mostrou-se significativo, contemplando adequadamente todos os casos.

Tabela 16 – Categorias de formas utilizadas para descrever problemas.

Nº	Categorias
1	Descreve os elementos da fórmula molecular;
2	Observa e/ou determina o átomo central;
3	Percebe o número de átomos na fórmula molecular;
4	Reconhece os elétrons na camada de valência;
5	Analisa os elétrons ao redor de cada átomo;
6	Especifica o compartilhamento elétrons;
7	Identifica o número de ligações que cada átomo faz.
8	Demais ações/descrições realizadas para resolver o problema.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da comparação entre a representação de nova instância (caracterizada pela forma como o problema foi descrito) e a representação de conhecimento armazenado (definida pelo tipo de informação utilizada), foi possível determinar se a correspondência era estrita ou parcial e se o nível de abstração na representação de conhecimento armazenado era substancialmente semelhante, maior ou menor que a representação de nova instância.

Tanto as categorias relacionadas à identificação da representação do conhecimento armazenado quanto às referentes à definição da representação de nova instância foram geradas a partir de apreciações das resoluções dos problemas. Foram executadas análises de forma

indutiva, com o agrupamento de temas recorrentes a partir da leitura das respostas transcritas, realizando um processo de construção de categoria *a posteriori*, seguindo a metodologia empregada por Merriam (1997). Ao completar a relação de categorias inicial, esta foi submetida à análise da professora, que culminou nas categorias definitivas presentes na Tabela 15 e Tabela 16.

Por fim, com o objetivo de testar a confiabilidade na análise do pesquisador, soluções de 16 problemas foram selecionadas aleatoriamente (25% dos dados transcritos). A professora determinou, independentemente, as representações do conhecimento armazenado e de nova instância, e os classificou de acordo com o modo de correspondência (parcial ou estrita). Da mesma forma, identificou a diferença entre as representações das abstrações, ou seja, o nível de abstração (aproximado/igual - ambos baixo, aproximado/igual - ambos alto, diferentes - $RNI > RCA$ ou diferentes - $RCA > RNI$). Em relação à determinação dos níveis de abstração, houve 100% de concordância entre as análises, no entanto, os resultados foram divergentes na avaliação de 5 soluções (31,25%), quando foi considerado o modo de abstração.

Ao buscar a compreensão desta divergência, constatou-se que ela ocorria somente quanto ao modo de abstração apresentava características expressivas condizentes tanto ao modo de abstração parcial quanto ao estrito. Com o objetivo de definir qual modo se sobressaia, primeiramente foram identificados todos os casos em que os modos de abstração apresentavam tais características, o que correspondeu a 25 soluções (39%). Na sequência, o pesquisador e a professora avaliaram estas soluções, não havendo concordância em 17 (68%) soluções. Como método de decisão, um terceiro avaliador foi considerado, assim, um professor foi convidado a analisar as 17 respostas, definindo o modo de abstração.

4.2 Investigação do Processo de Abstração

Essa seção busca investigar o desenvolvimento do processo de abstração dos estudantes ao resolverem problemas de geometria molecular com apoio da realidade aumentada. Para tanto, foi necessário caracterizar a abstração dos alunos durante a resolução de problemas em aulas tradicionais e em aulas assistidas pela tecnologia de RA. Esse procedimento dependeu do reconhecimento de quais eram suas representações de nova instância e representações do conhecimento armazenado. Certas peculiaridades às quais os alunos direcionavam suas atenções e a maneira como descreveram os problemas permitiram identificar diferentes tipos de representações de novas instâncias. Por exemplo, alguns alunos perceberam que certos átomos eram considerados “átomos centrais” e que os demais somente ligavam-se a estes.

Outros identificaram e descreveram os elementos presentes na fórmula molecular, enfatizando o quantitativo de cada elemento e demonstrando quantas vezes cada um deveria estar presente na fórmula de Lewis. Alguns estudantes pensaram nos elétrons da camada de valência de cada elemento e explicitaram o compartilhamento de elétrons, bem como o número de ligações que cada átomo faria.

À medida que os alunos prestavam atenção às peculiaridades dos problemas, principalmente às explícitas, eles também recorriam a diferentes tipos de conhecimento prévios. Alguns alunos lembraram de uma molécula familiar, um tipo de geometria molecular que aprenderam em sala de aula ou um caso específico que viram anteriormente. Outros justificaram a resposta atribuída ao problema declarando fatos, relações ou conceitos. Muitos alunos descreveram sequências de eventos, como se estivessem seguindo um passo a passo, enquanto outros incorporaram informações sobre pares de elétrons livres, nuvens eletrônicas ou demais assuntos que não foram explicitamente relacionados no problema. Dessa forma, logo após a identificação das representações de nova instância e do conhecimento armazenado, foi possível caracterizar o nível de abstração das representações incorporadas nas respostas e como os alunos combinaram essas representações (modo de abstração).

Nas próximas seções, com o reconhecimento das representações, são abordados assuntos relacionados à investigação do nível e do modo de abstração, bem como à identificação dos processos de raciocínio.

4.2.1 Nível de Abstração

Ao caracterizar o nível de abstração das representações, foi possível constatar que não havia uma continuidade nas explicações e comentários dos alunos. Pelo contrário, havia interrupções, as respostas eram, em sua maioria, segmentadas, necessitando que o pesquisador insistisse, por meio de questionamentos, para que fossem revelados “fragmentos de pensamentos”. Essa característica foi identificada em um *continuum* de casos, independentemente do formato das aulas, sendo elas tradicionais ou assistidas pela tecnologia de realidade aumentada.

Em muitos casos, somente com a reunião desses fragmentos de respostas, tornou-se viável realizar a análise dos níveis de abstração. Assim, utilizando a estrutura de mapeamento de representação, foram definidas ocorrências de respostas com níveis de abstração **diferentes**, com a representação do conhecimento armazenado maior que a representação de nova instância e com a representação de nova instância maior que a representação do conhecimento

armazenado. Igualmente, foram determinadas ocorrências de respostas com níveis de abstração **aproximados/iguais**, com ambas as representações com níveis altos e, também, com níveis baixos.

A seguir é apresentada a análise dos resultados relacionados ao nível de abstração das heterogêneas construções de resoluções propostas pelos estudantes.

4.2.1.1 Análise dos Resultados

Com o encerramento do processo de determinação dos níveis de abstração relacionados às representações do conhecimento armazenado e às representações de nova instância, foi possível identificar ocorrências de respostas com níveis de abstração diferentes, bem como com níveis aproximados/iguais (ambos baixos e altos). Os níveis dessas representações estão presentes na Tabela 17, que está segmentada horizontalmente em dois grupos (G I e G II) compostos por seus respectivos alunos. Verticalmente está seccionada em duas colunas que apresentam o formato das aulas: aula tradicional ou aula com realidade aumentada. Por sua vez, cada coluna divide-se em outras duas colunas, que correspondem aos problemas resolvidos. O nível de abstração pode assumir o valor “-” para um nível baixo e “+” para um nível alto.

Ao analisar a Tabela 17, percebe-se duas características dominantes: a primeira estando relacionada à predominância de representações de conhecimento armazenado com nível de abstração alto e, igualmente, a segunda relativa à hegemonia de representações de nova instância com nível de abstração baixo. Essas características, por vezes apresentando pequenas variações, estão presentes em ambos os formatos de aulas e, também, nos dois tipos de problemas (“1” e “2”) da primeira e segunda aula.

Tabela 17 – Níveis de abstração.

Grupo	Aluno	Aula Tradicional				Aula com RA			
		1A		2A		1B		2B	
		RCA	RNI	RCA	RNI	RCA	RNI	RCA	RNI
G I	01	+	-	+	-	+	-	+	-
	02	-	+	-	-	-	-	-	-
	03	+	-	+	-	+	-	+	-
	04	-	-	-	-	+	-	-	-
	05	-	+	-	-	+	-	+	-
	06	+	-	-	-	+	-	+	-
	07	+	-	+	-	+	-	+	-
	08	+	-	+	-	+	-	+	-
Grup	Aluno	Aula com RA				Aula Tradicional			

		1A		2A		1B		2B	
		RCA	RNI	RCA	RNI	RCA	RNI	RCA	RNI
G II	10	+	-	+	-	+	-	+	-
	11	+	-	+	-	+	-	+	-
	12	+	-	+	-	+	+	+	+
	13	+	-	+	-	+	-	-	-
	14	+	-	+	-	+	-	+	-
	15	+	-	-	-	-	-	+	-
	16	+	-	-	-	-	-	-	-
	17	+	-	-	-	-	-	+	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse cenário também permite observar que ocorrências de resolução com o nível de abstração diferentes são predominantes, enquanto resoluções com níveis de abstração iguais/semelhantes estão em menor quantidade. Dessa forma, com o objetivo de apresentar algumas das diversas concepções de resoluções desenvolvidas pelos estudantes, bem como expor o modo no qual foram analisados, na sequência são considerados exemplos, um direcionado a cada caso de nível de abstração (níveis de abstração diferentes e aproximados/iguais). Os alunos são representados pelas sequências numéricas de 01 a 08, quando pertencentes ao Grupo I, e de 10 a 17 quando integrantes do Grupo II (conforme Tabela 17).

Os problemas são identificados seguindo a organização apresentada na Tabela 11, em que os iniciados pelo número “1” referem-se aos abordados em aula e pelo número “2” aos inéditos. Já os problemas que possuem a letra “A” condizem aos contemplados na primeira aula, e os que contêm a letra “B” correspondem aos desenvolvidos na segunda aula. Nos diálogos as falas do pesquisador são iniciadas pela letra “P” e as falas dos alunos pela letra “A”.

i) Nível de Abstração Diferente: Representação do Conhecimento Armazenado Maior que a Representação de Nova Instância

Nas ocorrências de respostas caracterizadas com a representação do conhecimento armazenado maior que a representação de nova instância, foi observado que os alunos procuraram adicionar conceitos que não foram explicitamente mencionados no problema e buscaram criar, mesmo que de forma limitada, vínculos com o conhecimento prévio. Não foram capazes, no entanto, de descrever adequadamente as particularidades expostas pela fórmula molecular e, igualmente, somente foram hábeis para realizar observações e/ou ações fundamentadas em aspectos superficiais de maneira restrita. O trecho de diálogo do pesquisador

(P) com o Aluno 11 (A.11), ao resolver o problema 1A, em entrevista realizada após a primeira aula com o uso da tecnologia de RA, permite ilustrar esse caso:

[...]

P: *Poderia resolver este problema, determinando a geometria molecular da molécula NH₃?*

A.11: *Sim...*

[...]

P: *Terminou?*

A.11: *Sim...*

P: *Bom... Você viu essa estrutura da molécula (NH₃) e quais foram as informações que você retirou dela? Que te levou a construir essa estrutura (Lewis)? Como você fez?*

A.11: *Eu tentei primeiro nos hidrogênios que eu vi que tinha três... então, ele teria que ter três nuvens... no mínimo... daí olhei depois o nitrogênio eu vi que tinha cinco elétrons... então, tirei os três de cada um daí sobrou dois... daí deu a nuvem né... o par de elétrons livres... que também é uma nuvem eletrônica... daí a estrutura fica assim...*

[...]

P: *Perfeito... Essa disposição que você colocou aqui... por que você fez com essa forma?*

A.11: *Porque como a professora falou... que esses elétrons isolados (par de elétrons livres) empurram os outros átomos para baixo... aqui tem uma força que empurra os hidrogênios para baixo...*

P: *Certo. E qual seria a geometria para essa estrutura?*

A.11: *Piramidal.*

[...]

P: *E o que mais você lembrou enquanto resolvia esse problema? Lembra de algo mais... alguma coisa... além do que você já falou?*

A.11: *Acho que sim... se não tiver par de elétrons vai ficar assim... linear... se tiver pares pode ficar angular ou como essa... piramidal... também dependendo das nuvens pode ficar tetraédrica...*

[...]

Nesse diálogo, torna-se perceptível a limitação da representação de nova instância. Esta representação é caracterizada somente no início da resposta, destacada pelo texto sublinhado, em que o aluno observa o número de elementos que compõem a forma molecular (três hidrogênios e um nitrogênio) e, sequencialmente, seus respectivos quantitativos de elétrons na

camada de valência. Por outro lado, há um predomínio da representação do conhecimento armazenado, representado pelo restante da solução.

O aluno começa sua resposta descrevendo os principais aspectos que ele observou na fórmula molecular (NH_3), analisando o número de hidrogênios e vinculando esta informação ao seu conhecimento prévio, concluindo que deveria haver o mesmo quantitativo de nuvens eletrônicas (cada hidrogênio representaria uma nuvem). Na sequência, notou que o nitrogênio possui cinco elétrons na camada de valência e, como precisaria fazer três ligações, uma com cada hidrogênio, recorreu ao seu conhecimento armazenado para definir que sobriariam dois elétrons e que esse par de elétrons livres também formaria uma nuvem eletrônica.

Ao ser questionado do motivo pelo qual a estrutura ficou com aquela disposição, o aluno conta com seu conhecimento armazenado, que referenciava lembranças do que a professora havia explicado para justificar sua solução. Informou, corretamente, que por existir um par de elétrons livres (uma nuvem eletrônica) haveria uma força que afastaria os átomos de hidrogênio. Igualmente, após informar acertadamente a geometria molecular, buscando responder se lembrava de algo mais, novamente volta a fazer referências às suas memórias, expondo seu conhecimento ao relacionar a existência ou não de pares de elétrons livres com os tipos de geometria molecular.

Neste caso, mesmo com uma representação de nova instância restrita, o estudante conseguiu solucionar o problema de forma correta, utilizando diferentes conhecimentos em relação ao assunto. A solução ocorreu fundamentada, basicamente, em sua representação do conhecimento armazenado, sendo capaz de criar relações entre diferentes categorias dessa representação (Tabela 15).

ii) Nível de Abstração Diferente: Representação de Nova Instância Maior que a Representação do Conhecimento Armazenado

Nas circunstâncias em que houve a caracterização da representação de nova instância maior que a representação do conhecimento armazenado, os alunos buscaram resolver o problema amparados em ações ou descrições superficiais. Ao mesmo tempo, não demonstraram lembranças mais profundas vinculadas ao assunto, apenas apresentaram restritas relações com seu conhecimento prévio. Isso pode ser observado no trecho de diálogo do Aluno 05 (A.05), ao resolver o problema 1A, em entrevista realizada após a primeira aula no formato tradicional:

[...]

P: Poderia resolver este problema, determinando a geometria molecular da molécula NH_3 ?

A.05: Tá bem...

A.05: Agora tenho que colocar se é trigonal... ou outra?

P: Isso...

A.05: Eu acho que é angular...

[...]

P: Bom... então você partiu daqui (fórmula molecular NH_3) e chegou aqui (estrutura de Lewis). Olhando para essa fórmula molecular (NH_3) quais foram as informações que você retirou/observou e como você chegou até essa estrutura de Lewis?

A.05: Peguei os elétrons da camada de valência desses átomos... o nitrogênio tem cinco e o hidrogênio um. Depois fiz a distribuição desses elétrons nos átomos...

P: E depois... o que mais você fez?

A.05: Fiz as ligações... o nitrogênio precisa de três e o hidrogênio de uma...

[...]

P: Certo... e o que foi mais difícil fazer?

A.05: Desenhar a estrutura (Lewis)...

P: E teve algo fácil?

A.05: Eu já sabia que o hidrogênio faria uma ligação cada um e o nitrogênio faria três... é maior... então, coloquei o nitrogênio como o átomo central... porque se ele é maior ele faz mais ligações né...

[...]

P: Certo... e você lembrou de algo visto na aula?

A.05: Eu não conhecia esse conteúdo... então... tipo... tentei seguir o que a professora fez em aula...

P: Lembrou dos balões?

A.05: Não... Não entendi nada dos balõezinhos...

P: Não pensou em outra molécula semelhante a essa? Por exemplo, uma que tivesse um " H_3 "?

A.05: Não...

[...]

P: Não pensou em "uma molécula similar"?

A.05: Não... não... fiz tentando seguir o que a professora falou em aula... primeiro vi o átomo central... depois fiz a distribuição dos elétrons... coloquei os elétrons em volta de cada átomo; e as ligações...

P: Certo.

[...]

O aluno, ao ser questionado sobre como chegou até a estrutura de Lewis, desenhada por ele, para auxiliar na identificação do tipo de geometria molecular, responde com ações baseadas em descrições explícitas do problema, que caracterizaram a representação de nova instância (segmentos sublinhados no texto). Iniciando com a observação dos elétrons da camada de valência dos átomos que constituem a molécula e, logo, enfatizando informações óbvias como o nitrogênio possuindo cinco elétrons e o hidrogênio tendo apenas um elétron na camada de valência. Na sequência, novamente, apenas realizou ações simplórias, como a distribuição dos elétrons ao redor de cada átomo e, como já havia notado o quantitativo de elétrons de cada átomo, somente efetuou as ligações.

A tentativa de criar vínculos com seu conhecimento prévio torna-se limitada e também superficial, comprovada no momento em que o estudante declara que “[...] tentei seguir o que a professora fez em aula [...]”. Ele sugere uma tentativa de lembranças condizentes com o que a professora demonstrou em aula, porém as recordações não são suficientemente desenvolvidas ao ponto de conceber fundamentações para auxiliar na resolução do problema. Isto é, simplesmente lembra que a professora apresentou o assunto em aula, contudo, não lembra “do que” e, principalmente, “de como” a professora expôs todo o processo de resolução, apenas de uma pequena parte. Não demonstra ter-se apropriado do processo para resolução de novos problemas.

Novamente isso se torna evidente no instante em que o aluno afirma não se lembrar de outras moléculas semelhantes e reafirma que, unicamente, fez “tentando seguir o que a professora falou em aula”, mas de forma incompleta e superficial. Desse modo, na tentativa de resolver o problema, o aluno concentrou-se, essencialmente, em descrever por meio de ações, características explícitas, com ausência de vínculos com seu conhecimento armazenado, ou por não haver tal conhecimento e/ou por não saber como realizar tais vínculos.

Outro aspecto a ser observado é que além de não realizar conexões profundas com seu conhecimento prévio, o mesmo ocorreu com as relações criadas entre as ações que caracterizaram a representação de nova instância (Tabela 16). O aluno apenas buscou seguir um passo a passo de ações, como “[...] primeiro vi o átomo central... depois fiz a distribuição dos elétrons... coloquei os elétrons em volta de cada átomo; e as ligações [...]”, ou seja, não há relações subjacentes.

iii) Nível de Abstração Aproximado/Igual: Representação de Nova Instância e Representação do Conhecimento Armazenado Baixos

Nos casos em que houve a definição do nível de abstração sendo aproximado/igual, com a representação de nova instância e a representação do conhecimento armazenado baixos, foi possível observar que os alunos se empenharam em resolver os problemas de forma muito direta. Foram concebidas apenas ações ou descrições muito limitadas e, sobretudo, não revelaram vínculos com memórias mais profundas. No trecho de diálogo do Aluno 16 (A.16), ao resolver o problema 1B, em entrevista realizada após a segunda aula no formato tradicional, isso fica evidenciado:

[...]

P: *Poderia resolver este problema, determinando a geometria molecular da molécula H_2O ?*

A.16: *Sim...*

P: *Isso... e qual seria a geometria dessa molécula?*

A.16: *Trigonal.*

[...]

P: *Certo. Então, você tem essa estrutura da molécula (H_2O) o que você percebeu? Quais foram as informações que você retirou dela? Que te levou a construir essa estrutura (Lewis)? Como você fez? Como você pensou?*

A.16: *Eu pensei assim... como fiz os exercícios nas aulas... como o oxigênio é o átomo central... ponho o número de elétrons nele... daí ponho os hidrogênios... e depois faço as ligações...*

P: *E você lembraria de algo mais? Conseguiria me explicar com mais detalhes como você fez?*

A.16: *Acho que não... fiz assim... como eu disse...*

[...]

P: *Certo. E pela distribuição dos elétrons ao redor do átomo central, você imaginaria, talvez, outra forma ou geometria para essa molécula?*

A.16: *Acho que não... acho que seria essa mesmo...*

[...]

Ao terminar de resolver o problema e identificar a geometria molecular, o aluno foi perguntado sobre o que o havia levado a construir aquela estrutura de Lewis, como havia feito e/ou como havia pensado nesse processo. Ele argumenta que buscou resolver o problema da mesma forma que solucionou os exercícios em aula. Percebe-se, porém, que nesse momento

talvez ocorra a única tentativa de buscar, em sua memória, certas lembranças que o ajudem a resolver o problema, caracterizando, assim, sua representação do conhecimento armazenado. Esta representação, por sua vez, neste caso, não apresenta vínculos profundos com seu conhecimento prévio, pelo contrário, há somente uma tentativa de acessar esse conhecimento, porém de forma indeterminada, por meio de lembranças de “[...] *como fiz os exercícios nas aulas [...]*”.

O estudante, na sequência, constata que o oxigênio é o átomo central, coloca os elétrons ao redor dele, acrescenta os átomos de hidrogênio à estrutura e, por fim, faz as ligações. Esse pequeno conjunto de ações restritas caracteriza a representação de nova instância, que constitui um exíguo passo a passo, respaldado em observações e descrições de propriedades superficiais da fórmula molecular (H_2O). Todos os procedimentos relacionados tanto à extração de informações do problema quanto à busca por conhecimentos prévios são limitados. Isso também pode ser diagnosticado quando o aluno é questionado se lembraria de algo mais e se conseguiria explicar com mais detalhes como ele fez, e ele responde “[...] *acho que não... fiz assim... como eu disse... [...]*”.

É possível inferir, dessa forma, que o aluno demonstra ser capaz de desenvolver somente poucas ações relacionadas às descrições superficiais, vinculando unicamente a um conhecimento prévio igualmente superficial. Em suma, ambas as representações são caracterizadas por possuírem um baixo nível de abstração, pois não há determinação de ligações mais profundas com o conhecimento prévio e tampouco a inclusão de conceitos complementares.

iv) Nível de Abstração Aproximado/Igual: Representação de Nova Instância e Representação do Conhecimento Armazenado Altos

Foi possível observar que as respostas caracterizadas com um nível de abstração sendo aproximado/igual, com a representação de nova instância e a representação do conhecimento armazenado altos, apresentaram ações que foram além das baseadas em descrições superficiais do problema. Elas envolveram conceitos adicionais, que não foram explicitamente mencionados ao observar a fórmula molecular (SiO_2). Simultaneamente, expuseram lembranças mais profundas relacionadas ao assunto, revelando vínculos ampliados com seu conhecimento prévio. Isso pode ser observado no trecho de diálogo do Aluno 12 (A.12), ao resolver o problema 2B, em entrevista realizada após a segunda aula no formato tradicional:

[...]

P: *Essa molécula não foi vista em aula, mas o processo de resolução é semelhante. Poderia resolver este problema, determinando a geometria molecular da molécula SiO_2 ?*

A.12: *Posso fazer de novo?*

P: *Claro... fica à vontade.*

A.12: *Acho que é assim...*

P: *E qual seria a geometria dela?*

A.12: *Linear.*

[...]

P: *Bom... Você tem essa molécula (SiO_2) e a partir dela você retirou informações para construir a estrutura de Lewis. Então, quais foram as informações que você retirou e como fez para chegar até aqui... na estrutura de Lewis? Como você procedeu?*

A.12: *Coloquei o Si na frente... no meio... como átomo central... porque ele tem quatro elétrons e precisa de mais quatro para fechar oito... e o oxigênio tem seis e precisa de mais dois... e como têm dois átomos de oxigênio... daí eu tentei fazer aqui, desse jeito (formato angular) e vi que não iria dar... porque não tem nenhuma molécula que não tenha elétrons sobrando aqui (no átomo central)... que não tenha nuvens eletrônicas né... que fique nesse formato (angular)... porque se não tem nuvens não vai ter força para empurrar os outros átomos... daí fiz de novo a distribuição dos elétrons... coloquei os elétrons em volta do átomo de Si e em volta dos dois átomos de oxigênio... vi as ligações que cada um precisa fazer... o Si precisa de quatro e cada oxigênio de duas... e fiz nessa forma aqui (linear)... daí ficou certo... acho que é o mesmo caso da molécula que a professora mostrou... lembro dela mas não lembro o nome... mas também tinha dois oxigênios...*

[...]

P: *Mas porque você acha que esse modelo se encaixa melhor?*

A.12: *Porque os oxigênios também ficam nas pontas (nas extremidades) ... porque o átomo central é o "Si"... e os dois oxigênios precisam fazer duas ligações... daí faz essa ligação aqui... essa outra aqui... daí fecham oito elétrons e fica assim (linear)...*

[...]

P: *E você lembra de mais alguma coisa que foi vista em aula? Enquanto resolvia?*

A.12: *Como a gente não viu essa molécula em aula foi mais difícil..., mas eu lembrei lá da aula no laboratório... que tinha uma molécula que era linear... como falei antes... daí pensei que eram muito parecidas... que poderia ser a mesma coisa né...*

[...]

Ao finalizar o desenvolvimento de sua resposta, o aluno foi questionado sobre seu procedimento de resolução. Ao iniciar sua explicação, claramente constrói sua representação de nova instância (textos sublinhados) retirando informações explicitadas pela fórmula molecular (SiO_2), como observação dos átomos que constituem a molécula, definição do átomo central e quantitativos de elétrons. Fundamentado nessas informações superficiais, o estudante estabelece vínculos mais profundos com seu conhecimento prévio, incluindo conceitos adicionais que não foram evidenciados no problema (texto não sublinhado), juntamente com um conjunto de relações subjacentes.

Os conceitos adicionais e as relações subjacentes podem ser percebidos ao decorrer do relato de sua resolução. No momento em que o aluno observou que “viu que não iria dar”, justificando sua pergunta “[...] Posso fazer de novo? [...]”, presente no início do diálogo, ele constatou que estava concebendo uma resposta errônea. O estudante, inicialmente, procurou seguir um caminho que conduzia a uma geometria molecular do tipo angular, contudo, compreendeu, por meio de relações com seu conhecimento prévio, que não seria possível contemplar tal tipo. Seu raciocínio, envolvendo lembranças vinculadas ao assunto e, simultaneamente, às características notadas no problema, foi capaz de definir que não seria possível haver moléculas do tipo angular sem “elétrons sobrando” e com ausência de nuvens eletrônicas (justamente formadas por esses elétrons que sobriariam).

O estudante além de adicionar novos conceitos como a ideia de pares de elétrons livres (que seriam os “elétrons sobrando”) e de nuvens eletrônicas, desenvolveu vínculos mais profundos com seu conhecimento prévio. O que o possibilitou a determinar que “[...] porque se não têm nuvens não vai ter força para empurrar os outros átomos [...]”, isto é, neste caso, as relações subjacentes desenvolvidas por ele foram capazes de excluir a possibilidade da molécula possuir uma geometria do tipo angular, por um raciocínio sequencial exclusivo: não havendo pares de elétrons livres, assim, não existirão nuvem eletrônicas, portanto, não haverá qualquer tipo de força que seja capaz de “empurrar” os demais átomos, logo, não poderá possuir um geometria do tipo angular.

Dando continuidade ao seu processo de resolução, o aluno retorna às ações relacionadas às características que observou no problema, colocando os elétrons ao redor dos átomos de silício e de oxigênio e estabelecendo as ligações. Na sequência, atribuiu o tipo linear à geometria molecular e, imediatamente, complementou sua resposta afirmando que esse caso seria “[...] o mesmo caso da molécula que a professora mostrou [...]”. Nesse breve trecho do

diálogo, mais uma vez, ficam evidenciados os vínculos com seu conhecimento prévio, com suas lembranças a respeito de uma possível “molécula similar”, apresentando uma habilidade de comparar a constituição e forma da molécula presente no problema com outra vista em aula.

Quando questionado sobre a razão pela qual o modelo atribuído como resposta se encaixaria melhor e se lembraria de algo mais enquanto resolvia, novamente, o estudante entrelaça descrições do problema com seu conhecimento prévio. Ele afirma que o silício é o átomo central e que os dois oxigênios necessitam fazer duas ligações, culminando na estabilidade de todos os átomos da molécula, uma vez que ficariam com oito elétrons na camada de valência. Por fim, ele reforça que lembrou de uma molécula que era linear (vista na aula no laboratório, quando usou RA) e que pensou ser o mesmo caso, que ambas poderiam apresentar uma geometria molecular do tipo linear.

Neste caso, cujo nível de abstração é caracterizado por ser aproximado/igual, sendo que ambas as representações foram definidas com um grau alto, o aluno resolveu o problema por meio de observações de propriedades presentes na fórmula molécula e, simultaneamente, foi capaz de relacioná-las com um diversificado conhecimento prévio. Por fim, ele percebeu uma gama de particularidades inerentes à estrutura molecular, adicionou conceitos que não estavam explícitos no problema e soube desenvolver vínculos com suas lembranças.

4.2.1.1.1 Análise Quantitativa

Posteriormente à exposição das análises de resoluções de problemas, cujas representações foram caracterizadas nos diferentes níveis de abstração, nesta seção são propostas análises voltadas ao âmbito quantitativo. A Tabela 18, desse modo, apresenta referências condizentes aos diferentes níveis de abstração, sendo que os problemas “1” e “2” de cada aula foram agrupados (“1A - 2A” e “1B - 2B”). Cada agrupamento de entrevistas é constituído por 16 respostas, sendo oito referentes às resoluções do problema “1” (abordados em aula) e oito relacionados às soluções do problema “2” (inéditos).

Tabela 18 – Ocorrências dos níveis de abstração.

Grupo	Aula Tradicional (Entrevista A)				Aula com RA (Entrevista B)			
	1A - 2A				1B - 2B			
	Nível de Abstração				Nível de Abstração			
	Diferente		Aproximado/Igual		Diferente		Aproximado/Igual	
	+-	-+	--	++	+-	-+	--	++
G I	9 (56,25%)	2 (12,5%)	5 (31,25%)	0 (0%)	13 (81,25%)	0 (0%)	3 (18,75%)	0 (0%)
	11 (68,75%)		5 (31,25%)		13 (81,25%)		3 (18,75%)	
Grupo	Aula com RA (Entrevista C)				Aula Tradicional (Entrevista D)			
	1A - 2A				1B - 2B			
	Nível de Abstração				Nível de Abstração			
	Diferente		Aproximado/Igual		Diferente		Aproximado/Igual	
	+-	-+	--	++	+-	-+	--	++
G II	13 (81,25%)	0 (0%)	3 (18,75%)	0 (0%)	9 (56,25%)	0 (0%)	5 (31,25%)	2 (12,5%)
	13 (81,25%)		3 (18,75%)		9 (56,25%)		7 (43,75%)	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O agrupamento foi realizado com o intuito de melhorar a possibilidade de observação das informações e, igualmente, seguir a metodologia de análise proposta nesta tese (seção 3.4 - Técnicas de Análise de Dados). Logo após, é realizada uma apreciação com perspectiva geral dos resultados.

i) “Entrevista A” e “Entrevista B” (A x B)

Esta análise refere-se ao Grupo I, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula tradicional e, posteriormente, participou de uma aula no Sistema MMAR. Neste procedimento, o aluno trabalhou com o Sistema MMAR (“Aula com RA”), já possuindo conhecimentos em relação ao tópico de geometria molecular, adquiridos na aula tradicional (“Aula Tradicional”).

Na apreciação dos resultados deste relacionamento (A x B) não é possível perceber diferenças significativas entre os níveis de abstração. Na aula ministrada no formato tradicional

11 respostas (68,75%) foram caracterizadas com nível de abstração diferente e 5 (31,25%) com níveis de abstração aproximado/igual. Quando comparados com a aula desenvolvida com o apoio da tecnologia de RA, os valores desses níveis de abstração assumem, respectivamente 13 (81,25%) e 3 (18,75%), apresentando um aumento do nível diferente em 12,5% (o que corresponde à duas respostas) e uma redução do nível aproximado/igual também em 12,5%.

Ao detalhar o nível de abstração diferente é possível observar uma variação relevante quando considerada a representação do conhecimento armazenado sendo maior do que o grau da representação de nova instância (“+ -”), que passa de 9 (56,25%) para 13 (81,25%). Evidencia-se, assim, um aumento de 4 ocorrências (25%). O nível diferente “- +” esteve presente em dois casos na aula tradicional, não sendo observado na aula que fez uso da RA. Já o nível aproximado/igual “+ +” não foi constatado em nenhuma das aulas.

Um aspecto que se sobressai nessa análise são duas ocorrências relacionadas ao nível de abstração diferente, sendo o grau da representação do conhecimento armazenado menor do que o grau da representação de nova instância (“- +”). Entre todas as 64 respostas, essas duas ocorrências foram observadas somente na aula tradicional e correspondem à resolução do problema “1A” pelos alunos 02 e 05 (Tabela 17).

ii) “Entrevista A” e “Entrevista C” (A x C)

A apreciação da associação A x C diz respeito ao Grupo I, no qual o aluno iniciou participando de uma aula tradicional (“Entrevista A”), e ao Grupo II, no qual o aluno começou participando de uma aula no Sistema MMAR (“Entrevista C”). Em ambos os casos, o aluno iniciou o experimento sem conhecimento prévio de geometria molecular. Ao proceder esta análise, constata-se que os números e variações são exatamente os mesmos apresentados na relação A x B.

iii) “Entrevista C” e “Entrevista D” (C x D)

Esta análise refere-se ao Grupo II, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula no Sistema MMAR e, posteriormente, participou de uma aula tradicional. Nesta prática, o aluno participa de uma aula tradicional (“Aula Tradicional”), já possuindo conhecimentos em relação ao tópico de geometria molecular, adquiridos na aula com o Sistema MMAR (“Aula com RA”).

É possível observar que os valores descobertos nesse relacionamento (C x D) são os inversos dos encontrados na relação (A x B). Na aula que utilizou a RA 13 respostas (81,25%) foram caracterizadas com nível de abstração diferente e 3 (18,75%) com níveis de abstração aproximado/igual. Ao confrontar esses números com os dados da aula ministrada no modelo tradicional, observa-se uma redução no nível de abstração diferente, passando para 9 (56,25%), ao contrário do nível de abstração aproximado/igual que aumentou para 7 (43,75%).

Especificando o nível de abstração diferente, percebe-se uma variação relevante quando considerada a representação do conhecimento armazenado sendo maior do que o grau da representação de nova instância (“+ -”), que reduz de 13 (81,25%) para 9 (56,25%). Expõe, desse modo, uma variação de 4 ocorrências (25%). O nível diferente “- +” não foi constatado. Por outro lado, o nível aproximado/igual “- -” aumentou de 3 (18,75%) para 5 (31,25%) e o nível “+ +” não esteve presente na aula assistida pela RA, sendo observado somente duas ocorrências na aula tradicional.

Como na análise do relacionamento A x B, nesta associação (C x D) também há uma particularidade. São observadas duas ocorrências relacionadas ao nível de abstração aproximado/igual, sendo que tanto o grau da representação do conhecimento armazenado quanto o grau da representação de nova instância são altos (“+ +”). Entre todas as 64 respostas, essas duas ocorrências foram observadas somente na aula tradicional e correspondem à resolução dos problemas “1B” e “2B” pelo aluno 12 (Tabela 17).

iv) “Entrevista A” e “Entrevista D” (A x D) e “Entrevista A” e “Entrevista D” (B x C)

As análises desses relacionamentos não constam na metodologia desta Tese, contudo, é notória a relevância dessa apreciação. A apreciação da associação A x D refere-se ao Grupo I, no qual o estudante iniciou participando de uma aula tradicional (“Entrevista A”), e ao Grupo II, no qual o aluno integrou uma aula também tradicional, contudo, ele já detinha conhecimentos em relação ao tópico de geometria molecular, obtidos na primeira aula assistida pela RA. Nesta associação (A x D) os níveis de abstração permaneceram os mesmos, o nível diferente “+ -” (em verde - Tabela 18) é mantido em 9 (56,25%) e o nível aproximado/igual “- -” (em azul - Tabela 18) em 5 (31,25%). São observadas apenas duas exceções, a primeira tange ao nível de abstração diferente “- +”, que passa de 2 (12,5%) para zero, e a segunda condiz com o nível aproximado/igual “+ +” que é alterado de zero para 2 (12,5%).

A avaliação do relacionamento B x C refere-se ao Grupo I, no qual o aluno participou de uma aula desenvolvida com RA, contudo, ele já possuía conhecimentos em relação ao tópico

de geometria molecular, obtidos na aula primeira tradicional, e ao Grupo II, no qual o estudante iniciou participando de uma aula também ministrada com RA. Em ambos os casos os níveis de abstração mantiveram-se os mesmos. O nível de abstração diferente “+ -” (em amarelo – Tabela 18) permaneceu com 13 ocorrências (81,25%) e o nível aproximado/igual “- -” (em laranja – Tabela 18) com 3 (18,75%).

v) Perspectiva Geral

A análise dos resultados, a partir de uma perspectiva geral, torna-se relevante para a compreensão da disposição das ocorrências de cada nível de abstração no cenário global da pesquisa. Este contexto está resumido na Tabela 19 e apresenta variações de valores significativas. A principal delas diz respeito à diferença do quantitativo entre os casos classificados como nível de abstração diferente e como aproximado/igual. Respostas definidas como nível diferente representam 71,87% (46), enquanto as determinadas como nível aproximado/igual configuram 28,13% (18), o que reproduz uma variação expressiva de 43,74% (28).

Tabela 19 – Níveis de abstração em uma perspectiva geral.

Nível de Abstração			
Diferente		Aproximado/Igual	
+ -	- +	- -	+ +
44 (68,75%)	2 (3,12%)	16 (25%)	2 (3,12%)
46 (71,87%)		18 (28,13%)	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Respostas definidas como nível de abstração diferente “+ -” corresponderam a 44 ocorrências (68,75%), o maior número entre as classificações. Na sequência, o nível aproximado/igual “- -” representa 16 casos (25%), sendo que os níveis diferente “- +” e aproximado/igual “+ +” reproduzem, cada um, apenas duas respostas (3,12%).

Outro aspecto relevante a ser observado é a predominância de representações do conhecimento armazenado contendo um nível de abstração considerado alto “+”. Ao somar essas representações, todas definidas com nível alto (“+ -” e “+ +”), tem-se 46 ocorrências

(71,87%). Por outro lado, ao somar as representações do conhecimento armazenado contendo um nível de abstração considerado baixo “-”, 18 casos (28,12%) são identificados (relacionados aos níveis “- +” e “- -”). As representações de nova instância que possuem um nível de abstração baixo “-” refletem um quantitativo expressivo de 60 ocorrências (93,75%), sendo considerada a soma dos níveis “+ -” e “- -”. Já as representações de nova instância definidas com nível de abstração alto “+”, atingem apenas 4 casos (6,24%), compreendendo a soma dos níveis “- +” e “+ +”.

Com o encerramento do processo de análise dos resultados relacionados ao nível de abstração, a seguir são apresentados os resultados relacionados ao modo de abstração.

4.2.2 Modo de Abstração

Durante o processo de análise do modo de abstração, constatou-se um aspecto semelhante ao ocorrido na apreciação do nível de abstração. Observou-se que as explicações e os comentários dos alunos não eram apresentados de forma contínua, ocorrendo o oposto, continham diversas interrupções, com respostas segmentadas. Em muitos casos, a possibilidade da realização da análise do modo de abstração, somente concretizou-se com a reunião desses fragmentos de respostas.

Nesta seção são expostos os resultados considerando como os alunos combinaram suas representações, ou seja, condizentes ao modo de abstração. No modelo de mapeamento de representação o modo de abstração corresponde às ações tomadas ao combinar a representação de nova instância com a representação do conhecimento armazenado. Essa correspondência pode ser **parcial** ou **estrita**. As diferentes formas como as representações foram parcialmente ou estritamente combinadas pelos alunos estão resumidas na Tabela 20.

Tabela 20 – Formas como as representações foram parcialmente ou estritamente combinadas.

Nº	Correspondência Parcial	Correspondência Estrita
1	Os alunos geralmente iniciam os problemas identificando o tipo de problema presente, reconhecendo que o problema poderia se ajustar a uma estrutura molecular e/ou a uma geometria molecular específica .	Os alunos geralmente iniciam os problemas buscando se concentrar em lembrar das etapas que precisam executar , havendo casos que se assemelham a um passo a passo.
2	Envolve uma discussão em um nível geral. Percebe-se que há uma remoção de particularidades de um problema	Envolve a comparação do problema com problemas anteriores de forma estrita,

	para comparar as experiências anteriores de maneira parcial.	fazendo correspondências um-para-um de representações.
3	Os alunos buscam resolver os problemas associando, comparando com outras moléculas , que poderiam ter a mesma geometria molecular.	Os alunos procuravam resolver os problemas, essencialmente, por meio de regras .
4	Os alunos baseiam seu raciocínio em casos semelhantes , identificando padrões subjacentes, como a tentativa de pensar em moléculas que, igualmente, poderiam possuir os mesmos elementos (ou parte destes) para identificar uma possível similaridade em suas geometrias.	Os alunos, muitas vezes, recorriam a modificações na sequência de execução do problema, para que pudessem adequar às regras às suas formas de pensar ou, ainda, para que correspondessem visualmente a uma maneira que os deixassem mais confortáveis a vê-lo e analisá-lo.
5	Os alunos realizam comparações com exemplos ou problemas vistos em aula e, ainda, com falas (explicações) da professora.	Aparentemente os alunos vasculham uma lista mental em busca de um procedimento ou solução que pudesse ser aplicado em forma de regra , diretamente, na resolução do problema em questão.
6	Os alunos também realizam comparações por meio de imagens mentais de moléculas, buscando semelhanças com moléculas já vistas ou, ainda, entre fragmentos destas.	Os alunos tendem a utilizar recursos vinculados à geração de imagens mentais de moléculas , para confrontar com estruturas moleculares já conhecidas (ou fragmentos dessas), contudo, isso ocorre por meio de regras .

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os alunos combinaram parcial ou estritamente suas representações por meio de diferentes formas (apresentadas na Tabela 20), porém algumas destas se destacaram pela constante presença nas descrições de resoluções. Ao associarem parcialmente suas representações, os estudantes empregaram formas essencialmente comparativas, buscando associar o problema em questão a experiências anteriores de maneira parcial. Procuravam comparar estruturas moleculares (ou parte dessas) com outras já vistas em exemplos ou problemas abordados em aula e em explicações. Frequentemente, da mesma forma, realizaram comparações por meio de imagens mentais de átomos, ligações ou moléculas.

Já os alunos que associaram estritamente suas representações, empenharam-se em utilizar formas fundamentadas em regras. Procuraram combinar o problema às experiências anteriores, contudo, essas lembranças estavam vinculadas a etapas que precisam ser executadas. As regras também estavam presentes como um meio de manipular recursos vinculados à geração de imagens mentais de moléculas, com o intuito de confrontar a molécula em questão com estruturas moleculares já conhecidas (ou fragmentos dessas).

A apresentação da análise dos resultados relacionados ao modo de abstração das diferentes construções de resoluções propostas pelos estudantes é apresentada na próxima seção.

4.2.2.1 Análise dos Resultados

Com a finalização do processo de caracterização e análise dos níveis de abstração, esta seção apresenta a apreciação dos resultados condizentes ao modo de abstração das heterogêneas construções de resoluções desenvolvidas pelos alunos. Os modos de abstração são expostos na Tabela 21, que está segmentada horizontalmente em dois grupos (G I e G II) compostos por seus respectivos alunos. Verticalmente está seccionada em duas colunas que representam o formato das aulas: aula tradicional ou aula com realidade aumentada. Por sua vez, cada coluna divide-se em outras duas colunas, que correspondem aos problemas resolvidos.

O modo de abstração pode assumir os valores “E” quando o modo for caracterizado como **estrito** e “P” quando o modo for definido como **parcial**. Outros dois modos também são apresentados nesta Tese, o primeiro sendo o “Es”, observado em respostas de alunos que apresentam tanto o modo de abstração parcial quanto o estrito, isto é, ambos os modos estão fortemente presentes, sendo muito próximos, porém o modo de abstração **estrita** é relativamente **sobressalente**. O segundo é o “Ps”, presenciado em resoluções de estudantes que expõem tanto o modo de abstração parcial quanto o estrito, ou seja, ambos os modos são constatados de forma acentuada, sendo muito próximos, no entanto, o modo de abstração **parcial** é moderadamente **sobressalente**.

Tabela 21 – Modo de abstração.

Grupo	Aluno	Aula Tradicional		Aula com RA	
		1A	2A	1B	2B
G I	01	E	E	Es	Es
	02	E	E	P	Es
	03	Es	E	E	E
	04	E	E	P	P
	05	E	E	Es	P
	06	E	E	E	Ps
	07	E	E	Ps	Ps
	08	E	Es	E	Es
Grupo	Aluno	Aula com RA		Aula Tradicional	
		1A	2A	1B	2B

G II	10	Es	P	Ps	P
	11	Es	Es	Ps	Ps
	12	Es	P	Ps	Ps
	13	P	P	Es	Es
	14	P	Es	Ps	Es
	15	E	P	E	Es
	16	P	P	E	P
	17	P	P	P	P

Fonte: Elaborado pelo autor.

É relevante ressaltar que os modos “Es” e “Ps” são considerados nesta tese como recursos para revelar e evidenciar a existência resoluções de problemas que não abrangem aspectos de um único modo de abstração. Pelo contrário, há respostas que compreendem características de ambos os modos de forma expressiva. Dessa forma, como no modelo de mapeamento de representação (HAHN e CHATER, 1998; SEVIAN *et al.*, 2015) o modo de abstração somente pode ser estrita (“E”) ou parcial (“P”). Para determinar o tipo de raciocínio (seção 4.3 Identificação dos Processos de Raciocínio), foram considerados os modos “Es” como sendo “E” e “Ps” sendo “P”, priorizando, assim, o modo de abstração sobressalente de “E” e “P”.

Com a intenção de apresentar algumas das diferentes construções de resoluções desenvolvidas pelos alunos e, igualmente, demonstrar a maneira pela qual foram analisadas, a seguir são considerados exemplos, um representando cada caso de modo de abstração.

i) Modo de Abstração Estrita (“E”)

As resoluções definidas com o modo de abstração estrita foram caracterizadas por apresentarem um direcionamento a procedimentos fundamentados em regras. Esse aspecto foi identificado por meio de inúmeros recursos utilizados pelos estudantes. Muitos procuraram conduzir o processo de resolução lembrando de etapas que deveriam ser sequencialmente seguidas, e quando não conseguiam vincular, ou, até mesmo lembrar de certos passos, recorriam a modificações na sequência de execução do problema, para que pudessem adequar as regras às suas formas de pensar.

Essa forma de resolução alicerçada em regras pode ser observada no trecho de diálogo do Aluno 07 (A.07), ao resolver o problema 1A, em entrevista realizada após a primeira aula no formato tradicional:

[...]

P: *Bom... então, você tem essa estrutura aqui (NH₃), partiu dessa estrutura e chegou aqui (estrutura de Lewis). Olhando para essa estrutura (NH₃) quais foram as informações que você usou? Quais informações e como você usou?*

A.07: *É que tem que fechar parêntese... ficar estável né... é que na verdade... bom... mas acho que está certo assim... coloquei o “N” no meio (átomo central)... coloquei assim... talvez esteja certo... assim... com os três “H” embaixo...*

[...]

P: *Certo... mas como você sabe que o “N” deve ficar no meio... por que ele fica no meio?*

A.07: *Eu lembro que a professora falou do átomo que fica no meio... do átomo central né?! Porque ele faz mais ligações né...*

[...]

P: *E como você chegou na estrutura final? Como você resolveu?*

A.07: *Assim... primeiro vi que deveria colocar o “N” no meio (átomo central)... porque ele não tem número embaixo... se tivesse um número, como o “três” no “H” daí ele não ficaria no meio... ficaria em volta... depois coloquei os pontinhos (elétrons) e fiz as ligações... e como sobrou esse dois elétrons (par elétrons livres)... os “H” ficam pra baixo... acho que se não tivesse ficariam mais retos né... não ficariam pra baixo...*

[...]

Quando o aluno inicia a construção de sua resposta afirmando que deve “ficar estável” e, a partir disso, busca identificar o elemento que seria o átomo central, ele possui o conhecimento de que é necessário que todos os átomos fiquem estáveis, realizando o adequado quantitativo de ligações para que isso ocorra e, para tanto, cumpriu a primeira etapa de sua sequência de execução: definir o átomo central. Mesmo estando hesitante em relação à esta decisão, ele prossegue e efetiva a segunda etapa: estabelecer as ligações dos demais átomos com o átomo central (“com os três ‘H’ embaixo”).

Ao ser questionado sobre o motivo pelo qual o nitrogênio seria o átomo central, o aluno lembra do que a professora havia falado em aula e justifica afirmando que “Porque ele faz mais ligações né...”. O modo de raciocinar deixa claro que o nitrogênio somente foi definido como átomo central porque ele faz mais ligações, isto é, **se** ele faz mais ligações, **então**, ele é o átomo central. Torna-se evidente, nesse trecho de diálogo, que o aluno busca respostas por meio de regras.

Em um segmento de diálogo subsequente o modo de abstração estrita é manifestado de forma mais intensa. Quando perguntado como chegou à estrutura final, como resolveu, o estudante afirma que “primeiro” percebeu que deveria colocar o nitrogênio no meio, como átomo central. Detalha, na sequência, o porquê dessa decisão: “[...] **porque ele não tem número embaixo... se tivesse um número, como o ‘três’ no ‘H’ daí ele não ficaria no meio... ficaria em volta [...]**”. O encadeamento executado é característico de um pensamento fundamentado em regras, pois o nitrogênio, de acordo com o aluno, tão somente é o átomo central por que não tem um número embaixo, se tivesse, como o “três do H”, então, não ficaria no meio, ficaria ao redor.

Dando prosseguimento à sua resposta, o aluno descreve que “[...] **depois coloquei os pontinhos (elétrons) e fiz as ligações [...]**”. Ele mantém o mesmo modo de abstração estrita, buscou desenvolver sua resolução seguindo um passo a passo, visto que, anteriormente, afirmou que “[...] **primeiro vi que... [...]**” e logo após diz “[...] **depois coloquei [...] e fiz as... [...]**”. Por fim, o estudante empenha-se em especificar a disposição final dos átomos e, conseqüentemente, por meio de uma tentativa de adequar certas sequências de execução do problema à sua forma de pensar, consegue dar continuidade à correspondência estrita: “[...] **e como sobrou esse dois elétrons (par elétrons livres)... daí os ‘H’ ficam pra baixo... acho que se não tivesse ficariam mais retos né... não ficariam pra baixo [...]**”.

Da mesma forma, uma nova regra, agora aplicada à determinação do posicionamento dos átomos no espaço 3D, é construída na tentativa de uma condução à correta geometria molecular. A regra pode ser identificada ao se observar sua estrutura: “[...] **e como sobrou [...]**”, “[...] **daí os [...]**”, “[...] **se não tivesse ficariam [...]**” e “[...] **não ficariam [...]**”. Ou seja, como a molécula possui um par de elétrons livres, então, os hidrogênios ficam para baixo, se não, ficariam retos e permaneceriam lineares.

ii) Modo de Abstração Parcial (“P”)

Os estudantes cujas resoluções foram caracterizadas como modo de abstração parcial apresentaram tendências a desenvolver respostas utilizando mecanismos sustentados em comparações. Muitos procuravam iniciar a solução entendendo que o problema poderia se ajustar a uma estrutura molecular e/ou a uma geometria molecular específica, enquanto, outros buscavam desenvolver uma discussão em um nível amplo (geral). Isso ocorria, correntemente, havendo uma remoção de particularidades do problema com o objetivo de comparar com experiências anteriores de maneira parcial.

Para realizarem essas comparações, os alunos fundamentavam seus raciocínios em casos semelhantes, recordando e aplicando diferentes recursos, como pensar em moléculas que, igualmente, poderiam possuir os mesmos elementos presentes em sua estrutura (ou parte destes) para identificar uma possível similaridade em suas geometrias. Alguns, principalmente após as aulas ministradas com a utilização da tecnologia de RA, faziam referências a moléculas enfatizando certas semelhanças condizentes à quantidade de átomos, cores, ligações e posições (acima, ao lado e/ou embaixo do átomo central).

A propriedade, contudo, que é visivelmente predominante em resoluções caracterizadas com o modo de abstração parcial é a comparação. Esta geralmente ocorre na busca por características semelhantes em assuntos relacionados, em exemplos ou problemas vistos em aula, em falas (explicações) da professora e, ainda, em imagens mentais de moléculas (ou entre fragmentos destas).

O modo de abstração parcial pode ser observado no trecho de diálogo do Aluno 13 (A.13), ao resolver o problema 1A, em entrevista realizada após a primeira aula utilizando o Sistema MMAR:

[...]

P: Certo. E qual é a geometria dessa estrutura?

A.13: Piramidal.

[...]

P: Bom... você viu essa estrutura da molécula (NH₃) o que você percebeu? Quais foram as informações que você retirou dela? Que te levou a construir essa estrutura (Lewis)? Como você fez?

A.13: Bom... acho que ela pode ser trigonal ou piramidal né... pela quantidade de átomos... de nuvens... aqui tem um átomo de nitrogênio e três de hidrogênio... a camada de valência do nitrogênio é de cinco elétrons e ele vai fazer ligações com três hidrogênios... até acho que vimos essa (molécula) em aula né... mas não lembro a forma (geometria) dela... mas a professora mostrou na aula uma (molécula) que também tinha um “H₃” e ela ficava com esses átomos mais para baixo... tinha uma força que empurrava para baixo... e ficava assim... pra baixo...

[...]

P: Certo... mas exatamente como ou o que empurra para baixo?

A.13: *Esses elétrons que sobraram... sabe... acho que é isso empurra para baixo... como aquela molécula que tinha os átomos verdes que a professora mostrou na imagem... tinha um átomo no meio e dois átomos verdes ligados mais para baixo... ficava tipo um “V” invertido...*

[...]

Ao ser questionado em relação ao que o havia levado a construir aquela estrutura de Lewis e, principalmente, como havia procedido, o aluno inicia sua descrição com uma tentativa imediata de identificar o tipo de geometria molecular “[...] acho que ela pode ser trigonal ou piramidal né [...]”, e ao decorrer de sua resolução ele reconhece que o problema poderia se ajustar a determinada geometria molecular (especificamente à geometria trigonal ou piramidal). Por um breve momento o estudante foca em características mais intrínsecas ao problema, identificando elementos e especificando a camada de valência do nitrogênio, contudo, rapidamente, retoma à perspectiva de análise mais ampla.

O aluno, na sequência, lembra de ter estudado a molécula em questão, porém é incapaz de recordar de sua geometria. Quando isso ocorre, contudo, o aluno procura em seu conhecimento prévio por moléculas que possam ter alguma similaridade e que poderiam, de alguma forma, auxiliar na resolução do problema. Então, ele recorda de uma molécula, apresentada pela professora, que possui um aspecto semelhante em determinada parte de sua estrutura, pois, igualmente, esta molécula também contém um “H₃”.

Ao comparar os dois fragmentos das moléculas, ambos constituídos pelo “H₃”, o estudante percebe que a molécula que havia lembrado “[...] ficava com esses átomos mais para baixo [...]” (os três átomos de hidrogênio) e, dessa forma, esse caso também poderia ser aplicado à molécula do problema que, do mesmo modo, ficaria com os átomos de hidrogênio “para baixo”. Ele também vincula outra recordação à molécula lembrada, buscando justificar a posição dos átomos (embaixo), afirmando que “[...] tinha uma força que empurrava para baixo... e ficava assim... pra baixo [...]”. Dessa forma, de acordo com aluno, como na situação recordada havia uma força que “empurrava para baixo”, essa condição também se aplicaria à molécula na tentativa de solucionar o problema.

O pesquisador, na sequência, buscando obter mais detalhes em relação à “força que empurrava para baixo”, questiona o aluno “*Certo... mas exatamente como ou o que empurra para baixo?*”. O estudante, então, relata que “[...] esses elétrons que sobraram... sabe... acho que é isso empurra para baixo [...]”, admitindo que, de alguma forma, os elétrons que sobraram (par de elétrons livres) provocariam certa força, capaz de “empurrar” os átomos de hidrogênio para baixo. Ao dar continuidade, novamente, realiza uma comparação para justificar a

existência dessa força, que empurraria os átomos para baixo. Ele declara que “[...] *como aquela molécula que tinha os átomos verdes que a professora mostrou na imagem [...]*” e que “[...] *tinha um átomo no meio e dois átomos verdes ligados mais para baixo... ficava tipo um ‘V’ invertido [...]*”.

Mais uma vez o aluno busca em sua memória uma molécula que seja capaz de auxiliá-lo na explicação, contudo, ele lembra (visualmente) de uma molécula com apenas dois átomos (verdes) ligados para baixo, diferentemente da molécula utilizada no problema que possui três átomos ligados ao átomo central. Porém, como o estudante não foi capaz de lembrar de moléculas com a mesma estrutura ou, ainda, com mesmo número de átomos, ele tornou seu raciocínio mais genérico, buscando em suas lembranças por moléculas que possuíam um maior número possível de características que se assemelhassem com a molécula em questão.

O modo de abstração parcial também fica evidenciado no momento em que aluno lembra de uma molécula com “[...] *um átomo no meio e dois átomos verdes ligados mais para baixo [...]*”, possivelmente referindo-se à molécula OF_2 (usada como exemplo), e mesmo não sendo idêntica à molécula do problema, para o ele foi suficiente para usá-la em comparações parciais. Tanto que a utilizou em sua justificativa, e por esse caso apresentar átomos que ficavam dispostos para baixo, formando um tipo de “[...] *‘V’ invertido [...]*” (devido à uma força), ele pensou que possivelmente poderia ser aplicado de maneira semelhante na resolução do problema. E, desse modo, fez com que os três hidrogênios (“ H_3 ”), da molécula que estava sendo o foco da questão, também ficassem para baixo, definindo sua geometria molecular como piramidal.

iii) Modo de Abstração Estrita Sobressalente (“Es”)

Em diversas respostas foi possível observar que os alunos apresentaram tanto o modo de abstração parcial quanto o estrito, isto é, ambos os modos estão fortemente presentes, sendo muito próximos. Contudo, o modo de abstração estrita é relativamente sobressalente. Nesse modo os estudantes buscavam soluções por meio de remoções de características do problema com o objetivo de comparar com experiências anteriores de maneira parcial. Sendo que para efetivarem essas comparações, fundamentavam seus raciocínios em casos semelhantes, recordando e aplicando diferentes recursos, como no modo de abstração parcial. As resoluções, no entanto, possuíam um caráter dominante de um direcionamento a procedimentos fundamentados em regras, que procuravam conduzir o processo de solução lembrando de etapas que deveriam ser sequencialmente seguidas, característico do modo de abstração estrita.

O modo de abstração estrita sobressalente pode ser observado no trecho de diálogo do Aluno 10 (A.10), ao resolver o problema 1B, em entrevista realizada após a segunda aula, ministrada no formato tradicional:

[...]

P: Certo... então, você tem essa estrutura da molécula (H_2O) e o que você percebeu? Que te levou a construir essa estrutura (Lewis)? Como você fez?

A.10: Igual o que fiz no outro dia... acho que até é a mesma coisa da outra molécula... eu coloquei aqui o que precisaria de mais ligações né... o átomo central... o oxigênio... e os dois hidrogênios aqui... para estabilizar cada um... daí sobraram esses aqui (elétrons)... essas nuvens...

[...]

P: E poderia desenhar? Como você imagina essa molécula?

A.10: Acho que assim... ficaria angular...

[...]

P: Bom... e você lembra de mais alguma coisa? Quais foram as decisões que você tomou para definir que a geometria seria angular?

A.10: Acho que não... vi o átomo central... que é o oxigênio... os outros átomos e depois as ligações... só fiz a mesma coisa que fiz com a outra molécula (NH_3 ou SO_2)... da outra vez... ela também tinha essas nuvens (refere-se aos pares de elétrons livres)... como tem essas nuvens... elas fazem uma força né... porque elas ocupam espaço... daí fica assim (angular)...

[...]

Ao ser questionado pelo pesquisador em relação a que o levou a construir aquela estrutura de Lewis e como ele havia feito para definir a geometria molecular, o aluno inicia sua resposta revelando que buscou seguir a mesma situação realizada na aula anterior “[...] Igual o que fiz no outro dia [...]” e afirmando que “[...] acho que até é a mesma coisa (forma) da outra molécula [...]”. Essas falas são características de um modo de abstração parcial, onde o estudante analisa o problema de uma perspectiva mais ampla, procurando de imediato uma possível definição da geometria molecular (forma) por comparação com uma molécula abordada na aula anterior.

Buscando detalhar seu procedimento, o aluno informa que primeiro ele colocou “[...] aqui o que precisaria de mais ligações [...]”, referindo ao átomo central, que nesse caso seria o oxigênio e, logo após, acrescentou “[...] os dois hidrogênios aqui [...]” e, logo, “[...] sobraram

esses aqui (elétrons)... essas nuvens [...]". Nesse trecho da descrição fica evidenciado o modo de abstração estrita, pois há uma tendência em seguir certas etapas. Dessa forma, até o momento, mesmo que ambos os modos de abstração aparentem possuir a mesma medida de relevância, o modo de abstração estrita é relativamente sobressalente, visto que o desenvolvimento do problema (principais tomadas de decisão) deu-se nesse modo.

Na sequência, o pesquisador busca por mais detalhes do procedimento adotado pelo aluno em sua resolução e pergunta se ele lembra de algo mais e quais foram as decisões que ele tomou para definir que a geometria seria angular? Ao responder, ele inicia com o modo de abstração estrito, seguindo um passo a passo "*[...] Acho que não... vi o átomo central... que é o oxigênio... os outros átomos e depois as ligações [...]*". Logo após, contempla, brevemente, o modo de abstração parcial "*[...] só fiz a mesma coisa que fiz com a outra molécula (NH₃ ou SO₂)... da outra vez... ela também tinha essas nuvens [...]*". Novamente, ele lembrou de algum caso visto na aula anterior, direcionando sua atenção à comparação parcial com determinada molécula que também possui nuvens eletrônicas.

Ao seguir com sua descrição, o estudante informa que "*[...] como tem essas nuvens... elas fazem uma força né... porque elas ocupam espaço... daí fica assim (angular) [...]*", retoma o modo de abstração estrita, pois possui certa tendência a orientar-se por uma regra: **como têm** nuvens e elas fazem uma forma e ocupam espaço, **então**, fica assim. Assim, mais uma vez, o modo de abstração estrita é moderadamente sobressalente, pois os principais aspectos utilizados para desenvolver o problema ocorreram nesse modo. Em suma, há um certo entrelaçamento entre os dois modos de abstração, por vezes, podem aparentar representarem, até mesmo, exatas dimensões de significância, contudo, o modo de abstração estrita prevalece.

iv) Modo de Abstração Parcial Sobressalente ("Ps")

Alguns alunos desenvolveram resoluções caracterizadas por exporem tanto o modo de abstração estrito quanto o parcial, ou seja, foi possível perceber que ambos os modos estavam intensamente presentes, no entanto, o modo de abstração parcial era relativamente sobressalente. Os estudantes buscavam criar soluções por meio de procedimentos baseados em regras, procuravam conduzir o processo de solução lembrando de etapas que deveriam ser sequencialmente seguidas, característico do modo de abstração estrita. Contudo, era intrínseca à solução a predominância de um direcionamento à realização de comparações, fundamentando seus raciocínios em casos semelhantes, recordando e aplicando diferentes recursos. Igualmente,

promoviam remoções de características do problema com o objetivo de comparar com experiências anteriores de maneira parcial, próprio do modo de abstração parcial.

O modo de abstração parcial sobressalente pode ser observado no trecho de diálogo do Aluno 07 (A.07), ao resolver o problema 2B, em entrevista realizada após a segunda aula, ministrada utilizando o Sistema MMAR:

[...]

P: *Isso... então, qual seria a geometria?*

A.07: *Linear...*

[...]

P: *Bom... então, você saiu daqui (fórmula molecular SiO_2) e chegou aqui (desenho da molécula). Quais foram as informações que você usou? Como você fez? Como você pensou?*

A.07: *Tentei fazer a mesma coisa que fiz na outra... coloquei o "Si" no meio... igual ao oxigênio na anterior né (molécula H_2O)... e depois aqui tem dois oxigênios... daí coloquei nos lados. Depois vi quantos elétrons tinha cada um... daí fiz as ligações.*

[...]

P: *E por que você começou fazendo a estrutura assim (forma angular) e depois mudou para essa (linear)?*

A.07: *É que primeiro tentei colocar os dois oxigênios mais embaixo (angular) como fiz na outra molécula (H_2O)... daí vi que não iria sobrar elétrons... os pares de elétrons... ficaria diferente da outra né... daí fiz assim... linear...*

[...]

Quando perguntado pelo pesquisador, como havia procedido e pensado para desenvolver a resolução do problema, o aluno inicia afirmando que “[...] *Tentei fazer a mesma coisa que fiz na outra... coloquei o ‘Si’ no meio... igual ao oxigênio na anterior né (refere-se à molécula H_2O) [...]*”. Imediatamente ele procura resolver o problema fundamentando-se em lembranças parciais da solução empregada anteriormente. Ele identifica em seu conhecimento prévio um caso que se assemelha ao atual problema e, igualmente, julga ser suficientemente significativo para ser utilizado como um modelo comparativo.

O estudante, por meio de comparações parciais, percebe que poderia definir o “Si” como átomo central, da mesma forma que ele havia colocado oxigênio da molécula anterior, de acordo com o modelo seguido. E na sequência, possivelmente, ele organiza a distribuição dos átomos de oxigênios (da molécula SiO_2) reproduzindo o posicionamento dos átomos de

hidrogênio da molécula H_2O (utilizada como modelo de comparação), pois afirma que “[...] e depois aqui tem dois oxigênios... daí coloquei nos lados [...]”. Dessa forma, ele baseia seu raciocínio em casos semelhantes, busca identificar possíveis similaridades e realiza comparações, evidenciado o modo de abstração parcial.

Por outro lado, o modo de abstração estrita também é observado no segmento “[...] Depois vi quantos elétrons tinha cada um... daí fiz as ligações [...]”, onde é executado um pequeno passo a passo e, aparentemente, o aluno tenta adequar as regras para determinar a geometria molecular às suas formas de pensar. Visto que, primeiramente, ele observa os elétrons de cada átomo e não executa esse procedimento após ter organizado os átomos. Observa-se, contudo, que mesmo havendo a identificação do modo de abstração estrita, este ocorre de forma complementar, sendo que a resolução é basicamente alicerçada com o emprego do modo de abstração parcial, fazendo com que o modo de abstração parcial seja sobressalente.

Quando o estudante foi perguntado qual seria o motivo de ter iniciado a construção da estrutura molecular com uma forma angular e depois ter alterado para a forma linear, ele afirma que “[...] primeiro tentei colocar os dois oxigênios mais embaixo (angular) como fiz na outra molécula (H_2O) [...]”, direcionando ao modo de abstração parcial. Além do aluno lembrar do caso semelhante, julgando que poderia ser aplicado na tentativa de resolver o problema em questão, ele direciona sua atenção à comparação de uma parte da estrutura molecular, relacionada aos pares de elétrons livres.

Ao realizar essa comparação “[...] daí vi que não iria sobrar elétrons... os pares de elétrons... ficaria diferente da outra né... daí fiz assim... linear [...]”, o aluno percebeu que na molécula “ SiO_2 ” não sobriam elétrons (par de elétrons livres), não sendo possível, assim, apresentar a mesma geometria molecular da molécula H_2O , que continha par de elétrons livres. Como não iria manifestar uma forma semelhante, ele admitiu que a molécula assumiria uma forma diferente, que poderia ser linear. Por outro lado, nesse mesmo trecho também é perceptível a presença do modo de abstração estrita, pois a dedução que leva à definição da geometria molecular linear pode ser entendida como uma pequena regra: **se não** há par de elétrons livres, **então**, fica diferente, **é** linear.

O que ocorre nesse trecho de diálogo produzido pelo aluno, com o objetivo de explicar o desenvolvimento de sua resolução, até chegar à definição da geometria molecular como sendo linear, é um entrelaçamento entre o modo de abstração estrita e o modo de abstração parcial. É notório, contudo, que por utilizar como embasamento ou, ainda, como condição essencial para realizar o encadeamento de seu raciocínio, o modo de abstração parcial é relativamente sobressalente.

4.2.2.1.1 *Análise Quantitativa*

Com o encerramento das análises de resoluções de problemas, cujas representações foram caracterizadas nos diferentes modos de abstração, nesta seção são sugeridas análises direcionadas ao domínio quantitativo. A Tabela 22, desse modo, apresenta identificadores condizentes aos diferentes modos de abstração, sendo que os problemas “1” e “2” de cada aula foram agrupados (“1A - 2A” e “1B - 2B”). O modo de abstração é dividido em duas colunas, a primeira estando relacionada ao Parcial e a outra, à Estrita. Cada agrupamento de entrevistas é composto por 16 respostas, sendo 8 referentes às resoluções do problema “1” (abordados em aula) e 8 relacionados às soluções do problema “2” (inéditos). A classificação considerando os problemas “1” e “2” sem agrupamento pode ser observada no Apêndice VI.

Entre as colunas relacionadas ao modo de abstração parcial e estrita há uma linha tracejada que representa o limite entre cada modo, sendo que próxima a esta encontram-se os modos de abstração sobressalentes, representados com cores diferenciadas (em vermelho). Tem-se, dessa forma, o modo de abstração parcial dividido em duas colunas, uma relacionada às respostas caracterizadas como sendo essencialmente Parcial (“P”) e outra estando próxima à linha tracejada, concernente às respostas definidas como sendo Parcial Sobressalente (“Ps”).

O modo de abstração estrita, igualmente, está dividido em duas colunas, uma relacionada às respostas determinadas como sendo basicamente Estrita (“E”) e, outra, estando próxima à linha tracejada, relativa às respostas caracterizadas como sendo Estrita Sobressalente (“Es”). A intenção, assim, é demonstrar que determinada resposta caracterizada como modo de abstração parcial, ao se aproximar da linha tracejada (limite entre os modos), ela deixa de apresentar aspectos de abstração puramente parcial e, também, passa a demonstrar diversas características relacionadas ao modo de abstração estrita. Há uma grande tendência de aproximação ao modo de abstração estrita, contudo, não apresenta características suficientemente intensas para ser definida como este modo. Observa-se, então, um modo que apresenta fortes características estritas (ao se aproximar da linha tracejada), contudo, o modo de abstração parcial é sobressalente.

Tem-se, da mesma forma, o intuito de demonstrar que certa resposta definida como modo de abstração estrita ao se aproximar da linha tracejada, deixa de apresentar características essencialmente Estrita e, também, passa a demonstrar inúmeros aspectos condizentes ao modo de abstração parcial. Existe, assim, uma grande tendência de aproximação ao modo de abstração parcial, contudo, não apresenta características suficientemente profundas para ser definida

como este modo. Observa-se, então, um modo que apresenta fortes características parciais à medida que se aproxima da linha tracejada, contudo, o modo de abstração estrita é sobressalente.

Tabela 22 – Apresentação quantitativa dos modos de abstração.

Grupo	Aula Tradicional				Aula Realidade Aumentada			
	1A – 2A				1B – 2B			
	Modo de Abstração				Modo de Abstração			
	Parcial		Estrita		Parcial		Estrita	
GI	P	Ps	Es	E	P	Ps	Es	E
	0 (0%)	0 (0%)	2 (12,5%)	14 (87,5%)	4 (25%)	3 (18,75%)	5 (31,25%)	4 (25%)
	0 (0%)		16 (100%)		7 (43,75%)		9 (56,25%)	
Grupo	Aula Realidade Aumentada				Aula Tradicional			
	1A – 2A				1B – 2B			
	Modo de Abstração				Modo de Abstração			
	Parcial		Estrita		Parcial		Estrita	
GII	P	Ps	Es	E	P	Ps	Es	E
	10 (62,5%)	0 (0%)	5 (31,25%)	1 (6,25%)	4 (25%)	6 (37,5%)	4 (25%)	2 (12,5%)
	10 (62,5%)		6 (37,5%)		10 (62,5%)		6 (37,5%)	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao realizar uma análise direcionada aos modos de abstração caracterizados como sobressalentes (Tabela 22), dois aspectos são relevantes e devem ser considerados. O primeiro é o fato de não serem observadas ocorrências no modo de abstração parcial sobressalente na primeira aula ministrada no formato tradicional do Grupo I, visto que não foram registradas do modo abstração parcial. Já na primeira aula do Grupo II, que utilizou o Sistema MMAR, 10 (62,5%) respostas foram caracterizadas como modo de abstração parcial, contudo, nenhuma foi definida como modo de abstração parcial sobressalente. Por outro lado, na segunda aula do Grupo I, que utilizou o Sistema MMAR, apresentou 3 ocorrências (18,75%) caracterizadas com o modo de abstração parcial sobressalente. Esse modo é observado com o maior valor entres os

modos classificados como sobresselentes na segunda aula do Grupo II, ministrada no formato tradicional, com 6 casos (37,5%).

O segundo aspecto a ser considerado são as situações dos menores valores apresentados pelo modo de abstração estrito sobresselente estarem vinculados às aulas ministradas no formato tradicional. Sendo que a primeira aula do Grupo I apresenta 2 ocorrências (12,5%) e a segunda aula do Grupo II revela 4 casos (25%). Nas aulas que utilizaram o Sistema MMAR o modo de abstração estrito parcial sobresselente manteve-se igual, tanto na primeira aula do Grupo II quanto na segunda aula do Grupo I, ambas com 5 ocorrências (31,25%). É importante, no entanto, ressaltar que na primeira aula, entre os 6 casos relacionados ao modo de abstração estrito, somente 1 foi classificado como essencialmente estrito, enquanto, na segunda aula, 4 de 9 foram considerados fundamentalmente estritos.

Quando a análise dos modos de abstração sobresselentes é realizada considerando o âmbito geral (Tabela 23), observa-se o quanto são significativos. O modo de abstração parcial sobressalente possui um total de 9 ocorrências (14,06%), da mesma forma, o modo de abstração estrito sobressalente apresenta 16 casos (25%) e, somando-os, atinge-se a totalidade de 25 (39,6%) de respostas caracterizadas como sobresselentes. Ou seja, aproximadamente 40% das respostas caracterizadas com determinado modo de abstração, apresentam propriedades fortemente enraizadas de outro modo de abstração.

Tabela 23 – Apresentação quantitativa total dos modos de abstração.

Modo de Abstração			
Parcial		Estrita	
P 18 (28,12%)	Ps 9 (14,06%)	Es 16 (25%)	E 21 (32,81%)
27 (42,18%)		37 (57,82%)	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo de mapeamento de representação (HAHN e CHATER, 1998; SEVIAN *et al.*, 2015) considera apenas o modo de abstração parcial e o modo de abstração estrita. Dessa forma, após realizar a análise, ponderando os modos modo de abstração parcial sobressalente e o modo de abstração estrita sobressalente, estes modos são entendidos (considerados) como modo de

abstração parcial e modo de abstração estrita, respectivamente. As ocorrências desses modos são quantitativamente apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 – Apresentação quantitativa dos modos de abstração.

Grupo	Aula Tradicional		Aula Realidade Aumentada	
	1A – 2A		1B – 2B	
	Modo de Abstração		Modo de Abstração	
	Parcial	Estrita	Parcial	Estrita
GI	0 (0%)	16 (100%)	7 (45,75%)	9 (56,25%)
Grupo	Aula Realidade Aumentada		Aula Tradicional	
	1A – 2A		1B – 2B	
	Modo de Abstração		Modo de Abstração	
	Parcial	Estrita	Parcial	Estrita
GII	10 (62,5%)	6 (37,5%)	10 (62,5%)	6 (37,5%)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 24 foram realizados agrupamentos dos problemas “1A - 2A” e “1B - 2B” com a intenção de melhorar a possibilidade de observação das informações e, do mesmo modo, acompanhar a metodologia de análise proposta nesta Tese (seção 3.4 - Técnicas de Análise de Dados), apresentada da sequência. Por fim, é realizada uma apreciação com perspectiva geral dos resultados.

i) “Entrevista A” e “Entrevista B” (A x B)

Esta análise refere-se ao Grupo I, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula tradicional e, posteriormente, participou de uma aula no Sistema MMAR. Neste procedimento, o aluno trabalhou com o Sistema MMAR (“Aula com RA”), já possuindo conhecimentos em relação ao tópico de geometria molecular, adquiridos na aula tradicional (“Aula Tradicional”).

Nesse esquema de avaliação (A x B) o Modo de Abstração Parcial não apresenta ocorrências na aula tradicional, contudo, na aula com realidade aumentada são observados 7 casos (45,75%). Por outro lado, o Modo de Abstração Estrita representa a totalidade das respostas na aula tradicional, havendo uma redução para 9 ocorrências (56,25%) na segunda aula, que utilizou a tecnologia de realidade aumentada.

ii) “Entrevista A” e “Entrevista C” (A x C)

A apreciação associação A x C diz respeito ao Grupo I, no qual o aluno iniciou participando de uma aula tradicional (“Entrevista A”), e ao Grupo II, no qual o aluno começou participando de uma aula no Sistema MMAR (“Entrevista C”). Em ambos os casos o aluno iniciou o experimento sem conhecimento prévio de geometria molecular.

Ao proceder esta análise observa-se, como na relação A x B, que a aula tradicional não possui ocorrências do modo de abstração parcial, ao contrário da aula com realidade aumentada, que apresenta 10 casos (62,5%). Já o modo de abstração estrita, que está presente em 100% das respostas na aula tradicional, na aula com realidade aumentada representa 37,5% das ocorrências, ou seja, 6 respostas.

iii) “Entrevista C” e “Entrevista D” (C x D)

Esta análise refere-se ao Grupo II, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula no Sistema MMAR e, posteriormente, participou de uma aula tradicional. Nesta prática, o aluno participa de uma aula tradicional (“Aula Tradicional”), já possuindo conhecimentos em relação ao tópico de geometria molecular, adquiridos na aula com o Sistema MMAR (“Aula com RA”).

É possível observar que os valores encontrados nesse relacionamento (C x D) são preservados entre as entrevistas C e D. O modo de abstração parcial presente em 10 respostas (62,5%) na aula que fez uso da tecnologia de realidade aumentada, continua existindo em 10 resoluções (62,5%) na aula tradicional. O mesmo ocorre com o modo de abstração estrita que possui 6 ocorrências (37,5%) na aula com realidade aumentada e permanece com os mesmos valores na aula tradicional.

iv) Perspectiva Geral

É significativo, para a compreensão da disposição das ocorrências de cada modo de abstração no panorama global da pesquisa, observar os resultados a partir de uma perspectiva geral. Este contexto é expressado de forma breve na Tabela 25 e apresenta relevantes diferenças de valores.

Tabela 25 – Modos de abstração em uma perspectiva geral.

Modo de Abstração	
Parcial	Estrita
27 (42,18%)	37 (57,82%)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Resoluções caracterizadas como modo de abstração parcial representam 42,18%, ou seja, 27 ocorrências, no mesmo momento em que as respostas definidas como modo de abstração estrita configuram a maioria, com 57,82% (37 casos). Esse cenário expõe uma variação expressiva de 15,64% (10 ocorrências).

4.2.3 Discussão

A abstração, de acordo com Karch e Sevian (2020), caracteriza-se por ser evasiva e, conseqüentemente, suas medidas tornam-se indiretas. Dessa forma, buscando investigar o desenvolvimento do processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular utilizando realidade aumentada, a abstração foi considerada em termos de Nível de Abstração e de Modo de Abstração, subsequentemente versados.

i) Nível de Abstração

O nível de abstração das representações foi comparado com o objetivo de avaliar se a representação de conhecimento armazenado era consideravelmente similar, maior ou menor que a representação de nova instância. Assim, como no trabalho de Sevian *et al.* (2015), foram observadas representações constituídas por uma gama de tópicos e que ocorreram de várias formas. Estas formas dependiam dos problemas (principalmente de suas moléculas), das experiências dos alunos em aula e, possivelmente, das inúmeras diferenças subjetivas que os conduziram a preferir algumas formas de representação a outras.

Durante a análise do nível de abstração, foram identificados dois aspectos preponderantes, que podem ser observados nas Tabelas 17, 18 e 19. O **primeiro** está relacionado ao predomínio de respostas definidas com nível de abstração diferente, que representam 71,87% (46 casos), à medida que as determinadas com nível de abstração

aproximado/igual correspondem a 28,13% (18 casos), o que exprime uma variação expressiva de 43,74% (28 casos). Este cenário, diferentemente da pesquisa de Weinrich e Sevian (2017), permite identificar uma tendência de os alunos contemplarem de maneira distinta as representações durante o processo de solução dos problemas de geometria molecular. Ou seja, neste caso, a maioria dos estudantes abordou de forma aprofundada e detalhada determinada representação, enquanto a outra foi exposta de maneira mais superficial e direta.

Em relação ao nível de abstração quando associado ao desenvolvimento do processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular mediada pela realidade aumentada, foram observadas certas variações (Tabela 18). Ao se considerar o Grupo I, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula tradicional e, posteriormente, participou de uma aula no Sistema MMAR, foram constatadas 11 ocorrências (68,75%) do nível de abstração diferente na primeira aula, passando para 13 casos (81,25%) na segunda aula. Exatamente os mesmos números foram observados entre a primeira aula (tradicional) do Grupo I e a primeira aula (RA) do Grupo II. Quando o Grupo II é abordado, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula no Sistema MMAR e, após, participou de uma aula tradicional, foram constatadas 13 ocorrências (81,25%) do nível de abstração diferente da primeira aula, caindo para 9 casos (56,25%) na segunda aula.

Os números permitem identificar uma tendência de crescimento do nível de abstração diferente em aulas que utilizam realidade aumentada. E, ainda, com as respostas definidas com nível de abstração diferente, possuindo a representação de conhecimento armazenado maior do que a representação de nova instância, correspondendo a 26 ocorrências (81,25%), o maior número entre as classificações, é possível inferir que a RA possa influenciar no aumento do grau da representação do conhecimento armazenado. Essa possibilidade, talvez, contraponha a expectativa da RA desenvolver justamente a representação de nova instância, caracterizada pelas ações tomadas pelos alunos ao retirar informações ao observar determinada molécula. Essa expectativa ocorre, visto que, a RA, segundo Macariu *et al.* (2020), propicia enfatizar visualmente características implícitas de estruturas de átomos e arranjos moleculares e, igualmente, conforme Ewais e Troyer (2019), proporciona observar ligações químicas em um ambiente 3D de forma realista.

Por outro lado, o desenvolvimento da abstração relativa ao nível de abstração diferente com a representação do conhecimento armazenado definida como alta, em aulas mediadas pela RA, pode estar associado a características que extrapolam a concretização de conceitos abstratos, admitida por Virata e Castro (2019). Permitindo, assim, inferir que, de alguma forma, a RA tenha a capacidade de desenvolver relações subjacentes vinculadas ao conhecimento

prévio, ou seja, gerando novas habilidades cognitivas (ACOSTA *et al.*, 2019) e melhorando o desempenho do aluno (NURROHMAH *et al.*, 2020) na resolução de problemas.

O **segundo** aspecto está relacionado, como já mencionado, à predominância de representações de conhecimento armazenado com nível de abstração alto (71,87%, 46 casos). Este resultado assemelha-se aos números obtidos na pesquisa desenvolvida por Weinrich e Sevian (2017), que observaram que a maioria das respostas exteriorizadas pelos estudantes possuía e/ou tinha a tendência de apresentar representações de conhecimento armazenado com nível de abstração elevado.

A hegemonia de representações de conhecimento armazenado com nível de abstração alto pode indicar que os alunos são capazes de direcionar seu raciocínio, com maior capacidade e/ou competência, às informações adotadas como recurso de resolução, enquanto se afastam das informações utilizadas para descrever os problemas. Isto é, buscaram priorizar informações relacionadas a pares de elétrons livres, nuvens eletrônicas, repulsão entre nuvens eletrônicas e fórmula de Lewis, atribuindo menos importância a informações condizentes às ações, como descrever elementos da fórmula molecular, reconhecer os elétrons na camada de valência e identificar o número de ligações que cada átomo faz.

Isso pode estar relacionado, segundo Al-Mousawi (1990) e Ahmad e Omar (1992), à dificuldade de os estudantes terem de realizar ações específicas, consideradas simples, como determinar o átomo central e completar sua camada de valência. Por outro lado, mesmo seguindo a ideia expressada por Garratt, Horn e Tomlinson (2000) e Saritas (2015) de que os estudantes costumam criar modelos mentais e/ou representações que muitas vezes vão de encontro ao conhecimento científico, neste estudo, eles demonstram certas habilidades. Estas, por sua vez, em sua maioria, foram suficientemente complexas e adequadas para conceberem representações do conhecimento armazenado coerentes com os problemas propostos.

Também é possível analisar o nível de abstração seguindo a perspectiva de Hiebert e Lefevre (1986), que consideram o termo “abstração” para se referir ao grau em que uma unidade de conhecimento (ou relacionamento) está associada a um contexto específico. Ou, ainda, seguindo o entendimento de White e Mitchelmore (2010), que observam a abstração como sendo um produto resultante, baseado na generalização de vários atributos dos contextos subjacentes. Dessa forma, associar um nível baixo a uma representação, indica que ela possui um grau de detalhamento reduzido, caracterizando-se por apresentar informações superficiais e generalizadas. Por outro lado, vincular um nível de abstração alto a uma representação, denota que ela dispõe de um grau de detalhamento mais elevado, expressando informações mais detalhadas e aprofundadas.

Em suma, foi observado um crescimento do nível de abstração diferente em aulas que utilizaram a tecnologia de RA, quando comparado às aulas ministradas no formato tradicional. Do mesmo modo, foram encontrados indícios de que a RA proporciona o desenvolvimento da abstração em termos de nível de abstração diferente com a representação do conhecimento armazenado definida como alta. Remetendo a um cenário onde o aluno desenvolve seu raciocínio priorizando informações utilizadas como recursos de resolução (por exemplo, lembranças de exemplos e exercícios trabalhados em aula) e não como ações (e/ou informações) empregadas para resolver o problema (por exemplo, identificar o número de ligações que cada átomo faz).

ii) Modo de Abstração

A abordagem relativa ao modo de abstração foi realizada considerando como os alunos combinaram suas representações. No modelo de mapeamento de representação (HAHN e CHATER, 1998) o modo de abstração corresponde às ações tomadas ao combinar a representação de nova instância com a representação do conhecimento armazenado (resumidas na Tabela 20). Essa correspondência entre as representações pode ser parcial ou estrita.

Durante a análise dos resultados, foram observados três episódios significativos relativos ao modo de abstração. O **primeiro** refere-se ao Grupo I, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula tradicional e, posteriormente, participou de uma aula no Sistema MMAR. Nesse esquema de avaliação, na aula tradicional, não foram identificadas ocorrências do modo de abstração parcial, somente do modo de abstração estrita (Tabela 24). Entretanto, no momento em que a segunda aula foi realizada, sendo mediada pela realidade aumentada, observou-se um equilíbrio entre os modos de abstração: parcial alterando de 0% para 45,75% (7 casos) e estrita variando de 100% (16 casos) para 56,25% (9 ocorrências).

Esse cenário permite considerar a existência de uma relação específica entre a tecnologia de realidade aumentada e o modo de abstração parcial. Este entendimento surge a partir da inexistência deste modo na primeira aula do Grupo I, que foi ministrada sem o uso da RA. Sendo que o modo de abstração parcial somente surgiu na segunda aula do mesmo grupo, quando a RA foi utilizada. É plausível, assim, inferir que a RA, ao oportunizar a visualização de conceitos invisíveis, eventos e conceitos abstratos (ABDINEJAD *et al.*, 2020; IRWANSYAH *et al.*, 2020) propicie, também, o desenvolvimento do modo de abstração parcial. Igualmente, é possível deduzir que a RA proporciona a geração de imagens realistas (TEE *et al.*, 2018), que podem ser memorizadas pelos estudantes, o que facilita seu uso como

modelos mentais para a realização de comparações, aspecto particular do modo de abstração parcial.

Como, ainda, na primeira aula do Grupo I, ministrada sem o uso da RA, houve somente a presença do modo de abstração estrita, pode-se inferir que as características do formato tradicional de ensino foram mantidas. Reafirmando, dessa forma, a perspectiva de Brown *et al.* (2016) de que os procedimentos relacionados ao trabalho com a geometria molecular são fundamentados em seguir corretamente etapas pré-estabelecidas. Isto é, as ações realizadas pelos alunos durante o processo de resolução dos problemas estão direcionadas ao emprego de regras, características do modo de abstração estrita.

O **segundo** episódio diz respeito ao Grupo I, no qual o aluno iniciou participando de uma aula tradicional, bem como ao Grupo II, no qual o aluno começou participando de uma aula no Sistema MMAR. Sendo que, em ambos os casos, o estudante iniciou o experimento sem conhecimento prévio de geometria molecular. Nessa estrutura de análise, como na avaliação anterior, na aula tradicional (Grupo I), não foram identificadas ocorrências do modo de abstração parcial, apenas do modo de abstração estrita. O Grupo II, por outro lado, que principiou com a aula utilizando RA, apresentou resultados díspares: modo de abstração parcial com 10 ocorrências (62,5%) e modo de abstração estrita com 6 casos (37,5%). Esse contexto ratifica o primeiro episódio observado, cuja inexistência do modo de abstração parcial possa estar vinculada, igualmente, à ausência do emprego da tecnologia de RA. Sendo que o modo de abstração parcial apenas tenha se manifestado, e de forma dominante, no momento em que a RA foi utilizada, na primeira aula do Grupo II.

O **terceiro** episódio refere-se ao Grupo II, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula no Sistema MMAR e, posteriormente, participou de uma aula tradicional. Nesta prática, o aluno participa de uma aula tradicional já possuindo conhecimentos em relação ao tópico de geometria molecular, adquiridos na aula com o Sistema MMAR. Diferentemente dos episódios anteriores, nessa estrutura de avaliação, os valores encontrados foram conservados entre as aulas. O modo de abstração parcial observa-se presente em 10 respostas (62,5%) na primeira aula, que fez uso da RA, e continua existindo em 10 resoluções na segunda aula (tradicional). O mesmo ocorre com o modo de abstração estrita que possui 6 ocorrências (37,5%) na aula a com RA e permanece com os mesmos valores na aula tradicional. Esse cenário pode remeter ao entendimento de que o conhecimento adquirido com o uso da RA na primeira aula foi suficientemente forte para perdurar nos processos de resolução dos problemas da segunda (tradicional). O que torna os resultados coerentes com aqueles encontrados na pesquisa de Akçayir e Akçayir (2017), que apontou a possibilidade de a RA

promover a retenção do conhecimento, tanto conceitualmente quanto visualmente (permitindo definir uma representação visual).

Por outro lado, mesmo apresentando indícios de que a RA possa influenciar no desenvolvimento no modo de abstração parcial, ao se observar em uma perspectiva geral, é notório o predomínio do modo de abstração estrita (Tabela 25). Resoluções caracterizadas com modo de abstração parcial representam 27 ocorrências (42,18%), no mesmo momento em que as respostas definidas com modo de abstração estrita configuram a maioria, com 37 casos (57,82%). Estes números estão alinhados aos valores encontrados nas pesquisas de Sevian et al. (2015) e de Weinrich e Sevian (2017) que, igualmente, identificaram a predominância do modo de abstração estrita.

Possivelmente essa condição esteja em concordância com o pensamento de Gillespie e Robinson (2005), de que a correta definição e compreensão da geometria molecular, de determinada molécula é permitida seguindo regras. Dessa forma, mesmo possuindo indicativos de que a tecnologia de realidade aumentada possa influenciar no modo de abstração parcial, considerando o âmbito geral, esta influência não foi suficientemente expressiva para modificar a condição de um cenário baseado em regras em sua totalidade. Observou-se, contudo, ser consideravelmente forte para alterar grande parte desse cenário (42,18%).

Diferentemente das pesquisas desenvolvidas por Sevian *et al.* (2015) e por Weinrich e Sevian (2017), que abordaram somente os modos de abstração parcial e estrita, esta Tese expande o pensamento dos autores e, também, contempla outros dois modos de abstração. O primeiro é denominado modo de abstração estrita sobressalente, observado em respostas de alunos que apresentam tanto o modo de abstração parcial quanto o estrito, isto é, ambos os modos estão fortemente presentes, porém o modo de abstração estrita é relativamente sobressalente. O segundo nominado de modo de abstração parcial sobressalente, presenciado em resoluções de estudantes que expõem tanto o modo de abstração parcial quanto o estrito. Ou seja, ambos os modos são constatados de forma acentuada, sendo muito próximos, no entanto, o modo de abstração parcial é moderadamente sobressalente.

Esta abordagem assemelha-se ao trabalho Khasanah, Kusmayadi e Nurhasanah (2021) cujas ações relacionadas à forma de realizar abstrações também foram consideradas para definir níveis de abstração. Aproxima-se, do mesmo modo, da concepção de Karch e Sevian (2020) que operacionalizam a abstração como ações realizadas na solução de problemas. A proposta desta Tese, assim, também buscou apresentar recursos para revelar e evidenciar a existência de resoluções de problemas que não contemplem somente dois modos de abstração o que torna a classificação restrita e engessada. O modelo de classificação apresentado, que envolveu os

modos sobressalentes, demonstrou ser flexível, sendo capaz de representar com maior clareza e fidedignidade os modos de abstração inerentes ao processo de abstração de cada resolução.

Foram observadas poucas ocorrências do modo de abstração estrita sobressalente (Tabela 22) tanto na primeira aula do Grupo I, com 2 casos (12,5%) quanto na primeira aula do Grupo II, com 5 casos (31,25%). O modo de abstração parcial sobressalente não foi percebido nessas circunstâncias. Por outro lado, na segunda aula do Grupo I, que utilizou a RA, e na segunda aula do Grupo II, ministrada no formato tradicional, apresentaram um número significativo de ocorrências relacionadas aos modos de abstração sobressalentes. Nesse contexto podem ser destacados os valores condizentes ao modo de abstração estrita sobressalente da segunda aula do Grupo I, com 5 casos (31,25%) e o modo de abstração parcial sobressalente da segunda aula do Grupo II, com 6 casos (37,8%), representando o maior valor entre os modos classificados como sobressalentes.

Em um cenário mais abrangente, envolvendo a totalidade das respostas (Tabela 23), é possível constatar o quão significantes são os modos de abstração sobressalentes. O modo de abstração parcial sobressalente possui 9 ocorrências (14,06%) e o modo de abstração estrita sobressalente apresenta 16 casos (25%). Ao somá-los, atinge-se o número de 25 (39,6%) de respostas caracterizadas como sobressalentes. Ou seja, aproximadamente 40% das respostas definidas com determinado modo de abstração, apresentam propriedades fortemente aprofundadas de outro modo de abstração.

Mediante análise desse cenário, considerando cerca de 40% das respostas caracterizadas como modo de abstração sobressalentes, estas tendem a se manifestar com a realização da segunda aula. Uma explicação plausível é a de que a Química envolve um “pensamento multinível” (JOHNSTONE, 1991), como a própria geometria molecular que compreende os níveis macro, submicroscópico e simbólico. Contudo, no momento em que o aluno interage com esses níveis, possivelmente, utilizará os recursos que até então foram disponibilizados a ele. Como nas primeiras aulas de cada grupo havia sido apresentada, basicamente, somente uma forma de trabalho (tradicional ou com RA), essa forma predominou. No entanto, no momento em que o aluno absorveu uma segunda forma de trabalho, disponibilizada na segunda aula, essa forma também passou a integrar os seus recursos, que poderiam ser utilizados na resolução dos problemas. A definição da forma empregada no processo de solução de determinado problema, contudo, seguiu a propensão do aluno, que fundamentado em seu conhecimento, considerou o que seria mais cômodo e apropriado para aquela situação.

Em resumo, ao se analisar o desenvolvimento do processo de abstração em termos de modo de abstração, torna-se plausível admitir a existência de uma relação peculiar entre a

tecnologia de realidade aumentada e o modo de abstração parcial. Esta afirmação pode ser justificada baseando-se nos casos em que houve o emprego dessa tecnologia e que ocorreu aumento do modo de abstração parcial. Já em circunstâncias em que não houve a mediação utilizando RA, mantiveram-se as particularidades da aula tradicional, neste caso, fundamentadas em regras, característica do modo de abstração estrito. No entanto, mesmo sendo observados indícios de que a RA possa influenciar no desenvolvimento no modo de abstração parcial, ao se considerar uma perspectiva geral, o predomínio do modo de abstração estrita é evidente. Porém, verificou-se que o modo de abstração parcial possuiu aspectos consideravelmente fortes para modificar grande parte desse cenário (42,18%). Esta Tese também propôs expandir a ideia do modelo original, direcionado à aplicação de apenas dois modos de abstração (parcial e estrito), considerando outros dois modos: modo de abstração parcial sobressalente e modo de abstração estrita sobressalente. A proposta de categorização apresentada, que envolveu os modos sobressalentes, demonstrou ser adaptável, capaz de representar com maior compreensão os modos de abstração, presentes em diversificadas resoluções de problemas. Por fim, foi observado um índice significativo de respostas (39,6%) caracterizadas como modo de abstração estrita ou parcial sobressalente.

Com o encerramento das análises relacionadas ao nível de abstração bem como ao modo de abstração, na próxima seção são identificados os processos de raciocínio.

4.3 Identificação dos Processos de Raciocínio

O modelo de mapeamento de representação (HAHN e CHATER, 1998; SEVIAN *et al.*, 2015) proporciona um espaço de possibilidade de tipos de raciocínio (Tabela 1), considerando o nível de abstração e o modo de abstração. No que diz respeito ao modo de abstração, quando as representações são estritamente combinadas, o aluno pode estar usando o raciocínio baseado em regras ou raciocínio baseado em banco de memória. Por outro lado, quando as representações são parcialmente correspondidas, o estudante pode estar utilizando um raciocínio baseado em protótipo ou um raciocínio baseado em similaridade.

Em termos de nível de abstração, quando as representações de um aluno possuem o nível de abstração aproximado/igual (tanto relativamente baixa quanto alta), o estudante pode estar usando raciocínio baseado em similaridade (se as representações forem parcialmente correspondidas) ou raciocínio de banco de memória (caso as representações sejam estritamente combinadas). Quando uma das representações de determinado aluno possui o nível de abstração relativamente maior do que a outra (representação do conhecimento armazenado maior do que

a representação de nova instância, ou representação de nova instância maior do que a representação do conhecimento armazenado), o aluno pode estar usando o raciocínio de protótipo (se as representações forem parcialmente correspondidas) ou o raciocínio baseado em regras (se as representações forem estritamente combinadas).

A seguir, são apresentados exemplos direcionados a cada tipo de raciocínio, presentes na composição das diferentes resoluções de problemas.

4.3.1 Raciocínio Baseado em Regras

O raciocínio baseado em regras ocorre quando os alunos combinam estritamente suas representações de conhecimento armazenado com suas representações de novas instâncias, contudo, há uma diferença no nível de abstração entre essas representações. Dessa forma, quando os estudantes utilizaram o raciocínio baseado em regras, muitos buscavam resolver os problemas procurando se concentrar em recordar certas etapas que precisariam executar, havendo casos que se aproximavam de um passo a passo, como se estivessem seguindo um conjunto de regras.

O caso a seguir apresenta o segmento da resposta condizente ao problema 1A, desenvolvido pelo Aluno 15 (A.15), que permite apresentar uma abordagem em que as representações possuem níveis de abstração diferentes, sendo combinadas empregando o modo de abstração estrita, caracterizando o raciocínio baseado em regras:

[...]

P: *Se você fosse classificar, qual seria a geometria dela?*

A.15: *Acho que seria piramidal.*

A.15: *Porque ela tem esses dois elétrons aqui em cima... esqueci como se chama...*

P: *Par de elétrons livres?*

A.15: *Isso... isso... par de elétrons livres. Daí forma uma nuvem e ela puxa para baixo... daí tem três ligações e essas ligações vão ficar tipo... para baixo... posso desenhar aqui?*

P: *Claro.*

A.15: *Vai ficar tipo... assim...*

[...]

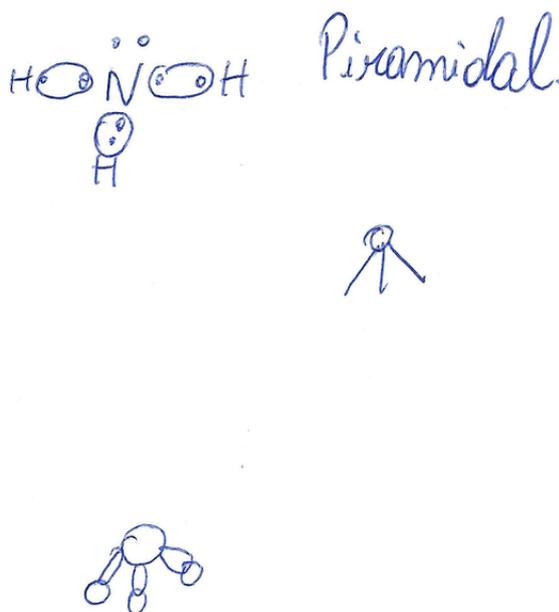
P: *Bom... então, você viu essa estrutura da molécula (NH₃) o que percebeu? Quais foram as informações que você retirou dela? Que te levou a construir essa estrutura (Lewis)? Como você fez?*

A.15: *Eu peguei o “N” para começar né... que é o nitrogênio e eu sei que ele tem cinco elétrons dele... daí separei né... e coloquei mais os dois (elétrons) em cima para ficar o par de elétron... daí forma uma nuvem... aí depois eu sei que tem três átomos de hidrogênio e, então, eu pus três em cada lado, no caso cada hidrogênio tem um elétron e... então, coloquei assim para fazer as ligações... e como tem a nuvem em cima vai puxar para baixo esses átomos (hidrogênios)... daí fica assim... eles (hidrogênios) ficam mais para baixo.*

[...]

Ao analisar a estrutura da resolução, que gerou os desenhos presentes da Figura 23, é possível identificar representações com níveis diferentes. A representação do conhecimento armazenado possui um nível de abstração alto, abrangendo diferentes tipos de informações adotadas como recursos de resolução. Entre estes recursos empregados estão o par de elétrons livres, nuvem eletrônica e relações voltadas às disposições dos átomos. Por outro lado, a representação de nova instância dispõe de um nível de abstração baixo, sendo limitada pela observação do número de átomos da molécula NH_3 e pelo reconhecimento de seus respectivos elétrons na camada de valência.

Figura 23 – Solução desenvolvida pelo aluno 15 para o problema 1A.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao modo de abstração é possível perceber que a forma como as representações são combinadas é estrita. Alguns trechos da descrição da resolução permitem perceber esse modo, como “[...] *Eu peguei o ‘N’ para **começar** né... [...] **daí separei** né... e **coloquei** mais os dois (elétrons) em cima para ficar o par de elétron... **daí forma** uma nuvem... **aí depois** eu sei que tem três átomos de hidrogênio e, **então**, eu pus [...]”]. O aluno inicia colocando o nitrogênio como átomo central e como se estivesse seguindo um passo a passo, ou um conjunto de regras, sequencialmente, ele distribuiu os elétrons colocando dois elétrons livres na parte superior do nitrogênio (Figura 23). Logo, o estudante conclui que esses dois elétrons formam uma nuvem eletrônica, e como tem três átomos de hidrogênio ele distribuiu ao redor do átomo principal. Concluiu, também, que por haver uma nuvem, os átomos de hidrogênio seriam “puxados” para baixo e, assim, a geometria molecular seria determinada como piramidal.*

4.3.2 Raciocínio Baseado em Banco de Memória

Como o raciocínio baseado em regras, o raciocínio de banco de memória ocorre quando os alunos combinam estritamente sua representação de conhecimento armazenado e sua representação de nova instância, contudo, não há diferenças significativas relacionadas ao nível de abstração entre as representações. Ou seja, o nível de abstração dessas representações são ambos relativamente altos ou relativamente baixos. Dessa forma, quando os alunos utilizaram o raciocínio baseado banco de memória, eles aplicaram as mesmas formas de corresponder estritamente suas representações que os alunos que usaram o raciocínio baseado em regras (correspondência um a um, lembrando etapas e obedecendo a uma regra), exceto o nível de abstração das representações diferiu. Igualmente, alguns estudantes, aparentemente, vasculham uma lista mental em busca de um procedimento ou solução (por vezes vinculados à geração de imagens mentais de moléculas) que pudesse ser aplicado em forma de regra, diretamente, na resolução do problema em questão.

A seguir, o segmento da resposta condizente ao problema 2B, desenvolvida pelo Aluno 13 (A.13), permite apresentar uma abordagem em que as representações possuem níveis de abstração aproximados, sendo combinadas de forma estrita (modo de abstração estrita):

[...]

P: *E qual seria a geometria dela?*

A.13: *Linear.*

[...]

P: *Bom... Você tem essa molécula (SiO₂) e a partir dela você retirou informações para construir a estrutura de Lewis. Então, quais foram as informações que você retirou e como fez para chegar até aqui... na estrutura de Lewis? Como você procedeu?*

A.13: *Bom... eu vi qual o átomo que fazia mais ligações... e a partir disso construí ali...*

P: *Mas eu percebi que você já estava construindo... ia construindo de forma linear. Você já imaginou antes de desenhar que era linear?*

A.13: *Sim...*

P: *E por que você já sabia?*

A.13: *Pela quantia de ligações que tem que fazer... o silício tem quatro elétrons e precisava de mais quatro... daí fica assim...*

[...]

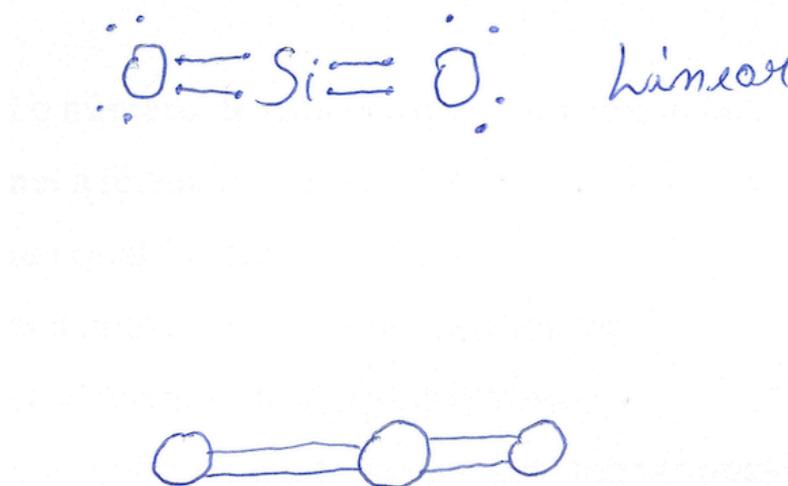
P: *Na molécula anterior você disse que comparou com outras. E com essa molécula você fez algum tipo de comparação ou relação com outras moléculas? Como você fez?*

A.13: *Sim... fiz a mesma coisa... tentei pensar em uma parecida com essa aqui, na verdade pensei na mesma molécula que pensei antes... assim... (mostrou o desenho que havia feito, na forma linear)... como ela também têm três átomos e quatro elétrons aqui (átomo central)... e eles ficam retos (linear)... e essa aqui também tem três átomos né... e quatro elétrons... daí acho que fica assim (linear).*

[...]

Ao avaliar o nível de abstração das representações é possível identificar que ambas possuem um nível relativamente baixo. Em relação aos recursos utilizados, que caracterizam a representação do conhecimento armazenado, estão vinculados, basicamente, à concepção da estrutura de Lewis a partir do átomo que “faz mais ligações” e às lembranças de uma molécula que poderia ser semelhante à molécula abordada no problema. Já a representação de nova instância foi definida por meio de descrições superficiais como número de átomos, elétrons e ligações. Ao mesmo tempo que as descrições da resolução referentes ao problema 2B, foram concebidas pelo aluno 13, também foram gerados os desenhos presentes da Figura 24.

Figura 24 – Solução desenvolvida pelo aluno 13 para o problema 2B.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao modo de abstração, este foi inicialmente caracterizado como modo de abstração estrita sobressalente, contudo, para determinar o tipo de raciocínio foi considerado como sendo modo de abstração estrita. Este modo foi observado pela forma como as representações foram combinadas, neste caso, empregando um pensamento voltado à aplicação de regras como “[...] o silício tem quatro elétrons e precisava de mais quatro... daí fica assim [...]”. Uma das regras seria, essencialmente, fundamentada no número de elétrons “**como** o silício tem quatro elétrons e precisa de mais dois, **então**, fica assim...”.

Ao buscar por mais detalhes, é possível observar que o aluno iniciou sua resolução identificando, praticamente de forma imediata, a geometria molecular. O que fez o pesquisador questionar se o aluno já sabia como iria permanecer à disposição dos átomos antes mesmo de desenhá-los, pois antes mesmo de fazer a distribuição dos elétrons ao redor de cada átomo, estes já estavam distribuídos de forma linear (Figura 24). Mesmo o aluno informando que era devido ao número de elétrons de cada átomo, o pesquisador insistiu, perguntando se ele fez alguma comparação com outras moléculas, visto que, no problema anterior o aluno relatou que havia realizado comparações com outras moléculas.

Ao descrever a forma como relacionou com outra molécula, o estudante diz que pensou na mesma molécula que havia pensado anteriormente, que possuía geometria molecular linear. No momento em que essa molécula semelhante é considerada, ele se concentrou em três aspectos que lembrava: a quantidade de átomos, o número de elétrons na camada de valência do átomo central e a geometria molecular linear. Da mesma forma, é possível perceber que ele

estava aplicando diretamente uma sequência memorizada de aspectos e não procurando uma representação mais generalizada da molécula em questão. Ele ficou retido nesses três aspectos porque não conseguia se lembrar de outros que pudessem estar vinculados à molécula memorizada.

Esses aspectos, assim, não foram expressivamente generalizados. Ao contrário, foram utilizados como componentes de uma regra simples “... como determinada molécula tem três átomos e quatro elétrons e eles ficam retos (linear)... e essa molécula tem três átomos e quatro elétrons, então, fica assim (linear)”. Desse modo, o raciocínio foi definido como sendo baseado em banco de memória por apresentar representações possuindo, igualmente, um nível de abstração baixo, combinadas de forma estrita.

4.3.3 Raciocínio Baseado em Similaridade

O raciocínio baseado em similaridade ocorre quando os alunos combinam parcialmente sua representação de conhecimento armazenado com sua representação de nova instância, e o nível de abstração dessas representações são relativamente altas ou baixas. Os estudantes que usaram o raciocínio baseado em similaridade, combinaram parcialmente suas representações de várias maneiras, apresentando tendências a construir respostas utilizando recursos fundamentados em comparações.

Muitos buscavam iniciar suas respectivas soluções percebendo que o problema em questão poderia se ajustar a uma estrutura molecular e/ou a uma geometria molecular específica, enquanto, outros, buscavam desenvolver uma discussão em um nível amplo (geral). Outros alunos procuravam construir novos conhecimentos ou relações na ausência de informações recuperadas, extraíndo características relevantes. Eles também basearam seu raciocínio em casos semelhantes, lembrados por meio da identificação de padrões subjacentes.

O raciocínio baseado em similaridade pode ser observado no trecho de diálogo do Aluno 02 (A.02), ao resolver o problema 1B, em entrevista realizada após a segunda aula utilizando o Sistema MMAR:

[...]

P: *Então, qual seria a geometria molecular?*

A.02: *Estou em dúvida entre a trigonal e a piramidal... mas acho que é trigonal...*

P: *E você consegue imaginar essa molécula em um espaço 3D? De forma 3D? Como vimos quando utilizamos a RA? Visualizar mentalmente? Como ela seria 3D... os átomos no espaço 3D?*

A.02: *Sim...*

P: *E conseguiria desenhar essa molécula?*

A.02: *Sim... acho que ficaria assim... eu lembro que tem uma molécula que fica assim (aluno mostra com os dedos a disposição dos átomos em forma de “V” sugerindo ser angular)... com o “O” aqui e os outros átomos aqui... mas não lembro o nome...*

[...]

P: *Bom... então, você tem essa estrutura molecular (H₂O) o que você percebeu? Quais foram as informações que você retirou dela? Como você fez?*

A.02: *Fiz a distribuição no formato que vi ontem na aula... coloquei os átomos assim... depois coloquei... como a professora mostrou... coloquei os elétrons em volta... sobraram esses aqui em cima... como naquela molécula que a professora mostrou sabe... que tinha os elétrons em cima... que os outros átomos ficavam mais pra baixo...*

P: *Certo.*

A.02: *Mas não sei se ficou certo com esses elétrons aqui (pares de elétrons livres)...*

P: *Na verdade a forma como você fez... está correta...*

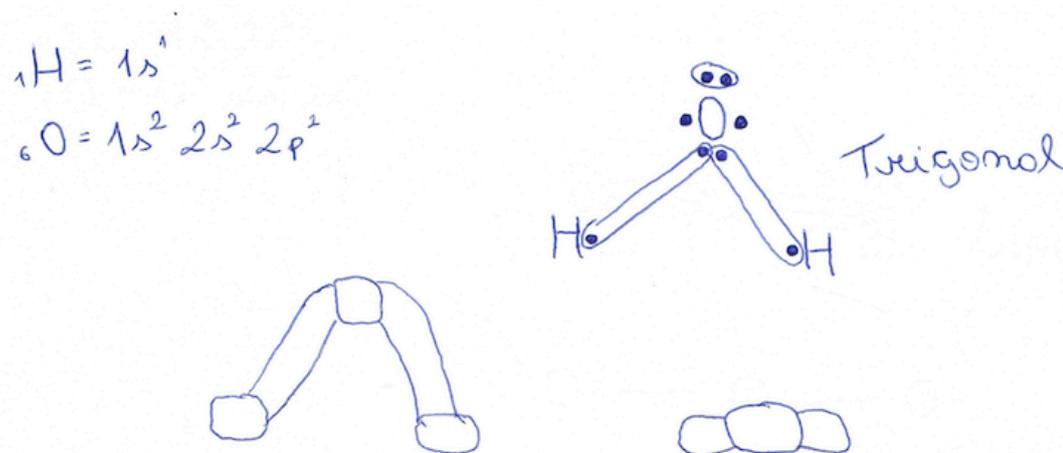
P: *E você consegue lembrar de outros modelos que viu em aula?*

A.02: *Sim... sim... tem esse tipo aqui (desenhou um modelo de bolas de uma molécula linear com três átomos)... acho que seria linear... mas lembro de outros também!*

[...]

A análise fundamentada no desenvolvimento da resolução, que gerou as anotações e os desenhos presentes da Figura 25, permite reconhecer representações com nível de abstração aproximado, sendo ambos baixos. A representação do conhecimento armazenado é caracterizada por compreender, essencialmente, lembranças de uma molécula que poderia ser semelhante à abordada no problema em questão. A representação de nova instância é igualmente limitada envolvendo vínculos com observações de átomos da molécula H₂O e pela identificação dos respectivos elétrons na camada de valência.

Figura 25 – Solução desenvolvida pelo aluno 02 para o problema 1B.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação ao modo de abstração é possível reconhecer a predominância do modo parcial. A solução apresentada pelo aluno foi fundamentada em comparações, sendo que seu raciocínio estava direcionado a recordações de casos que poderiam ser similares ao problema apresentado ou, ainda, à molécula em questão. O estudante iniciou a resolução buscando determinar os níveis de energia dos elementos que formam a molécula H_2O (extremidade superior esquerda da Figura 25). Mesmo não contemplando de forma correta essa ação, ele conseguiu distribuir de forma adequada os elétrons ao redor dos átomos.

O aluno, contudo, aparenta não dispor de lembranças que possam orientá-lo a desenvolver processo de resolução seguindo regras ou etapas sequenciais. Pelo contrário, ele procura lembrar de alguma molécula semelhante, com a qual ele possa relacionar ou utilizar como um modelo. Isso é evidenciado no momento em que ele é questionado se conseguiria desenhar a molécula e responde que “[...] sim... acho que ficaria assim... eu lembro que tem uma molécula que fica assim... com o ‘O’ aqui e os outros átomos aqui... mas não lembro o nome [...]”, exibindo com os dedos a disposição dos átomos em forma de “V” sugerindo uma geometria angular.

Ao prosseguir com a explicação do seu processo de resolução o aluno responde “[...] como naquela molécula que a professora mostrou sabe... que tinha os elétrons em cima... que os outros átomos ficavam mais pra baixo [...]”, buscando encontrar semelhanças com a molécula que a professora havia mostrado em aula. Mesmo não sendo capaz de especificar um número razoável de características que poderiam ser utilizadas nas comparações, o estudante manteve-se em um grau mais generalizado, relacionado somente átomos e elétrons. Ele ficou

hesitante em relação aos pares de elétrons livres “[...] *mas não sei se ficou certo com esses elétrons aqui [...]*”, pois possivelmente sabia que esses elétrons, de alguma forma, influenciariam na definição da geometria molecular. O aluno demonstrou lembrar e, inclusive, visualizar mentalmente outras formas moleculares sendo que a geometria molecular encontrada por ele, que mais se aproximou de ser aplicada com êxito, foi a exposta na Figura 25. Embora ele tenha desenhado acertadamente a estrutura de Lewis e a forma da molécula, equivocou-se na nomenclatura, informando ser “trigonal”, quando o correto seria “angular”.

Por fim, ao combinar representações de forma parcial, o aluno poderia estar utilizando o raciocínio baseado em similaridade ou de protótipo. Nesse caso, tanto a representação de conhecimento armazenado quanto a representação de nova instância possuíam um nível de abstração relativamente baixo, assim, ele usou o raciocínio baseado em similaridade.

4.3.4 Raciocínio de Protótipo

Como o raciocínio baseado em similaridade, o raciocínio de protótipo ocorre quando os alunos combinam parcialmente sua representação de conhecimento armazenado com a representação de nova instância, mas há uma diferença no nível de abstração entre essas representações. Quando os estudantes usaram o raciocínio de protótipo, eles aplicaram as mesmas formas de corresponder parcialmente suas representações que os alunos que empregaram o raciocínio baseado em similaridade (removendo particularidades, referenciando modelos moleculares, identificando características subjacentes e comparando com moléculas semelhantes). Contudo, o que diferenciou foi o nível de abstração das representações que possuíam graus diferentes.

O caso a seguir, apresenta o segmento da resposta condizente ao problema 2A, desenvolvido pelo Aluno 12 (A.12), que permite apresentar uma abordagem em que as representações possuem níveis de abstração diferentes, sendo combinadas empregando o modo de abstração parcial, caracterizando o raciocínio de protótipo:

[...]

P: *Bom... você tem essa molécula (SO₂) e a partir dela você retirou informações para construir a estrutura de Lewis. Então, quais foram as informações que você retirou e como fez para chegar até aqui... na estrutura de Lewis?*

A.12: *Foi quase a mesma coisa que a anterior (NH₃)... o enxofre vale seis e o oxigênio seis... e como foi no caso do anterior... coloquei o “S” aqui (central) e os outros em volta... daí fechou... o outro tinha três “H” né... esse tem dois “O” para ligar... daí acho fica assim...*

P: *E o que te levou a colocar os átomos nessa disposição? Porque ficou assim? Nesse formato?*

A.12: *Hmm... eu não sei... eu pensei em colocar assim (angular)... mas eu achei que seria melhor assim (linear)...*

P: *Em um formato mais linear?*

A.12: *Sim...*

[...]

P: *Poderia desenhar essa molécula? Como ficaria... como você imagina nela?*

A.12: *Sim...*

P: *Então a nomenclatura dela seria linear?*

A.12: *Sim... linear...*

[...]

P: *E essa molécula é semelhante a outra molécula? Como você havia dito que lembrava de vários modelos... lembra de algum específico?*

A.12: *Sim... ela se assemelha sim... mas não lembro exatamente qual...*

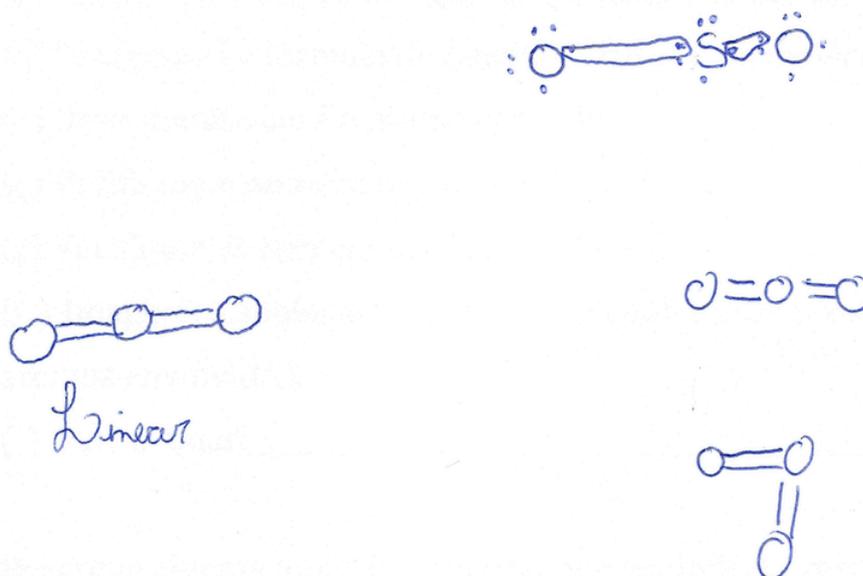
[...]

Ao analisar o desenvolvimento da solução, que também contemplou os desenhos presentes da Figura 26, é possível identificar representações com níveis de abstração diferentes. A representação do conhecimento armazenado possui um nível de abstração elevado, sendo caracterizada por compreender, entre outros aspectos, lembranças da molécula de amônia (NH₃), adotada como um modelo para auxiliar na resolução do problema em questão. A representação de nova instância é limitada, abrangendo basicamente relações voltadas a observações do quantitativo de átomos das moléculas NH₃ e SO₂.

Em relação ao modo de abstração, como no raciocínio baseado em similaridade, é possível observar a predominância do modo parcial. O desenvolvimento do processo de resolução apresentada pelo estudante, foi respaldada em comparações com uma molécula previamente estudada (NH₃), utilizando-a como um modelo (como referência). Ao iniciar sua resolução, após explicitar que está seguindo um modelo “[...] foi quase a mesma coisa que a anterior (NH₃) [...]”, ele reforça esta afirmação ao definir o átomo central, exatamente da mesma forma como determinou o átomo central da molécula empregada como modelo. O aluno declara que “[...] como foi no caso do anterior... coloquei o ‘S’ aqui (átomo central) e os outros

em volta [...]”, ou seja, reproduzindo o modelo da molécula de NH_3 , onde o “N” era o átomo central e colocou os outros átomos ao redor deste, na molécula em questão (SO_2), igualmente, determinou o “S” como átomo central e alocou os demais átomos ao redor.

Figura 26 – Solução desenvolvida pelo aluno 12 para o problema 2A.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como o estudante não foi capaz de lembrar de um modelo que se adequasse em sua totalidade à molécula em questão, ele busca comparar características que são semelhantes, com o intuito de aproximá-los, projetando encontrar algum aspecto que o auxilie na resolução. Essas características, neste caso, estão relacionadas aos átomos ligantes ao átomo central, “[...] o outro tinha três ‘H’ né... esse tem dois ‘O’ para ligar... daí acho fica assim [...]”, embora tenham um quantitativo diferente de átomos, o modelo possui três e a molécula em questão tem dois átomos, para o estudante este aspecto foi suficiente para auxiliá-lo na resolução.

O aluno, contudo, mesmo conseguindo criar vínculos com alguns aspectos com o modelo, essa condição foi insuficiente para conduzi-lo a uma correta resolução. Pois somente determinar o átomo central e ligar os demais átomos a ele, não garante uma resposta apropriada. Ainda existe a necessidade de dispor, corretamente, todos os átomos em um ambiente 3D. Dessa forma, no momento de criar essa distribuição, que levaria à definição da geometria molecular, o estudante, opta, erroneamente, pela forma linear “[...] hmm... eu não sei... eu pensei em colocar assim (angular)... mas eu achei que seria melhor assim (linear) [...]”. Então, neste cenário, ele identificou um padrão e utilizou um caso semelhante como modelo (exemplo) para

abordar o problema em questão, contudo, foram considerados aspectos exíguos, sendo realizadas raras comparações com relações parciais.

Em síntese, o aluno combinou parcialmente suas representações. Neste caso, a representação de conhecimento armazenado possuía um nível de abstração relativamente mais alto do que a representação de nova instância, o que caracterizou o uso do raciocínio de protótipo.

4.3.5 Análise Quantitativa

Após o término das análises relacionadas às resoluções de problemas, cujas representações foram caracterizadas contemplando tanto níveis de abstração quanto modos de abstração, nesta seção são propostas análises voltadas ao domínio quantitativo. A Tabela 26, dessa forma, apresenta indicadores condizentes aos diferentes tipos de raciocínio, sendo que os problemas “1” e “2” de cada aula foram agrupados (“1A - 2A” e “1B - 2B”). O modo de abstração é dividido em duas colunas, a primeira estando relacionada à parcial e a outra, à estrita. O nível de abstração, igualmente, é dividido em duas linhas, a superior estando associada ao nível diferente e a inferior ao nível aproximado/igual. Cada agrupamento é composto por 16 respostas, sendo 8 referentes às resoluções do problema “1” (abordados em aula) e 8 relacionados às soluções do problema “2” (inéditos). Estas respostas, por fim, são classificadas considerando os quatro tipos de raciocínio.

Tabela 26 – Tipos de raciocínio segmentados por aula.

Grupo			Aula Tradicional		Aula Realidade Aumentada	
			1A – 2A		1B – 2B	
			Modo de Abstração		Modo de Abstração	
			Parcial	Estrita	Parcial	Estrita
GI	Nível de Abstração	Diferente	Protótipo 0 (0%)	Baseado em Regras 11 (68,75%)	Protótipo 5 (31,25%)	Baseado em Regras 8 (50%)
		Aproximado /Igual	Baseado em Similaridade 0 (0%)	Baseado em Banco de Memória 5 (31,25%)	Baseado em Similaridade 2 (12,5%)	Baseado em Banco de Memória 1 (6,25%)
Grupo			Aula Realidade Aumentada		Aula Tradicional	
			1A – 2A		1B – 2B	
			Modo de Abstração		Modo de Abstração	
			Parcial	Estrita	Parcial	Estrita

GII	Nível de Abstração	Diferente	Protótipo 7 (43,75%)	Baseado em Regras 6 (37,5%)	Protótipo 6 (37,5%)	Baseado em Regras 3 (18,75%)
		Aproximado /Igual	Baseado em Similaridade 3 (18,75%)	Baseado em Banco de Memória 0 (0%)	Baseado em Similaridade 4 (31,25%)	Baseado em Banco de Memória 3 (18,75%)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o intuito de melhorar a possibilidade de observação das informações e, do mesmo modo, acompanhar a metodologia de análise proposta nesta Tese (seção 3.4 - Técnicas de Análise de Dados), na Tabela 26, foram realizados agrupamentos (“1A - 2A” e “1B - 2B”). A análise referente às informações contempladas na Tabela 26 é apresentada da sequência, sendo finalizada com uma apreciação de perspectiva geral dos resultados.

i) “Entrevista A” e “Entrevista B” (A x B)

Esta análise refere-se ao Grupo I, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula tradicional e, posteriormente, participou de uma aula no Sistema MMAR. Neste procedimento, o aluno trabalhou com o Sistema MMAR (“Aula com RA”), já possuindo conhecimentos em relação ao tópico de geometria molecular, adquiridos na aula tradicional (“Aula Tradicional”).

Nesse esquema de avaliação (A x B), por não ser identificado o modo de abstração parcial na aula tradicional, não há ocorrências dos tipos de raciocínio de protótipo e baseado em similaridade. Persistindo, assim, somente o raciocínio baseado em regras com 11 ocorrências (68,75%) e o raciocínio baseado em banco de memória com 5 casos (31,25%). Por outro lado, na aula com RA são observadas 5 respostas (31,25%) caracterizadas como raciocínio de protótipo e 2 (12,5%) como raciocínio baseado em similaridade. Ao mesmo tempo em que são reconhecidas 8 respostas (50%) classificadas como raciocínio baseado em regras e apenas 1 (6,25%) como raciocínio baseado em banco de memória.

ii) “Entrevista A” e “Entrevista C” (A x C)

A apreciação associação A x C diz respeito ao Grupo I, no qual o aluno iniciou participando de uma aula tradicional (“Entrevista A”), e ao Grupo II, no qual o aluno começou

participando de uma aula no Sistema MMAR (“Entrevista C”). Em ambos os casos o aluno iniciou o experimento sem conhecimento prévio de geometria molecular.

Ao realizar esta análise observa-se, como na relação A x B, que a aula tradicional não possui ocorrências do modo de abstração parcial, não existem ocorrências dos tipos de raciocínio de protótipo e baseado em similaridade. Observa-se apenas o raciocínio baseado em regras com 11 ocorrências (68,75%) e o raciocínio baseado em banco de memória com 5 casos (31,25%). Já na aula com RA foram identificadas 7 ocorrências (43,75%) como raciocínio de protótipo, 3 (18,75%) como raciocínio baseado em similaridade e 6 (37,5%) como raciocínio baseado em regras. Não foram observadas, contudo, ocorrências de raciocínio baseado em banco de memória.

iii) “Entrevista C” e “Entrevista D” (C x D)

Esta análise refere-se ao Grupo II, no qual o aluno iniciou o experimento participando de uma aula no Sistema MMAR e, posteriormente, participou de uma aula tradicional. Nesta prática, o aluno participa de uma aula tradicional (“Aula Tradicional”), já possuindo conhecimentos em relação ao tópico de geometria molecular, adquiridos na aula com o Sistema MMAR (“Aula com RA”).

É possível observar que os valores encontrados nesse relacionamento (C x D) pouco diferem quando o modo de abstração parcial é considerado. Dessa forma, na aula com RA, o raciocínio de protótipo possui 7 ocorrências (43,75%) e raciocínio baseado em similaridade tem 3 casos (18,75%), alterando na aula tradicional, respectivamente para 6 (37,5%) e 4 (31,25%). Por outro lado, tendo em vista o modo de abstração estrita, os índices tiveram maiores variações. As ocorrências relacionadas ao raciocínio baseado em regras reduziram de 6 (37,5%) na aula com RA para 3 (18,75%) na aula tradicional, sendo verificada uma variação inversa quando considerado o raciocínio baseado em banco de memória, que não havia sido registradas ocorrências na aula com RA e passou a ter 3 casos (18,75%) na segunda aula (tradicional).

iv) Perspectiva Geral

Para buscar a compreensão da distribuição das ocorrências de cada tipo de raciocínio, no contexto global da pesquisa, é necessário analisar os resultados a partir de uma perspectiva geral. Este cenário é apresentado de forma breve na Tabela 27 e expõe significativas diferenças de valores.

Tabela 27 – Tipos de raciocínio em uma perspectiva geral.

		Modo de Abstração	
		Parcial	Estrita
Nível de Abstração	Diferente	Protótipo 18 (28,12%)	Baseado em Regras 28 (43,75%)
	Aproximado/ Igual	Baseado em Similaridade 9 (14,06%)	Baseado em Banco de Memória 9 (14,06%)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os quatro tipos de raciocínio foram identificados nas resoluções, que foram desenvolvidas utilizando recursos e mecanismos heterogêneos. O raciocínio baseado em regras representa 43,75%, ou seja, 28 ocorrências, no mesmo momento em que as respostas caracterizadas como raciocínio de protótipo expõem 28,12% (18 casos). Por outro lado, tanto o raciocínio baseado em similaridade quanto o raciocínio baseado em banco de memória apresentam os mesmos índices, ambos com 14,06% (9 ocorrências).

4.3.6 Discussão

De acordo com o modelo de mapeamento de representação (HAHN e CHATER, 1998), a partir da caracterização da abstração em termos de nível de abstração e de modo de abstração, é possível definir o tipo de raciocínio utilizado. O espaço de possibilidades, proporcionado pelo modelo, permite determinar o raciocínio como sendo de protótipo, baseado em similaridade, baseado em regras ou baseado em banco de memória (Tabela 1).

Ao realizar a análise dos índices relacionados ao Grupo I, cujo experimento iniciou com alunos participando de uma aula tradicional e, sequencialmente, participando de uma aula no Sistema MMAR, são perceptíveis variações significativas. Na aula tradicional não foram observados episódios relacionados aos raciocínios de protótipo e baseado em similaridade, contudo, como consequência de o modo de abstração estar concentrado na forma estrita (Tabela 24), as ocorrências identificadas (Tabela 26) estão vinculadas ao raciocínio baseado em regras com 11 casos (68,75%) e ao raciocínio baseado em banco de memória com 5 casos (31,25%).

Com o desenvolvimento da segunda aula, sendo mediada pela realidade aumentada, constatou-se uma dissociação do modo de abstração estrita, provocando, assim, a emergência dos raciocínios de protótipo com 5 ocorrências (31,25%) e baseado em similaridade com 2 casos (12,5%). Havendo, por outro lado, uma redução do raciocínio baseado em regras para 8 ocorrências (50%) e do raciocínio baseado em banco de memória para apenas 1 caso (6,25%). Esse cenário, como discutido na seção 4.2.3 (análise relacionada ao modo de abstração), permite considerar a existência de uma relação entre a realidade aumentada e o modo de abstração parcial, que por sua vez, igualmente, possibilita sugerir uma associação entre esta tecnologia e os raciocínios de protótipo e baseado em similaridade.

Como não houve ocorrências desses raciocínios na primeira aula, sendo observados casos somente na segunda aula, é possível admitir que as características inerentes à tecnologia de realidade aumentada propiciem o desenvolvimento do modo de abstração parcial e, conseqüentemente, promovam a concepção dos raciocínios de protótipo e baseado em similaridade. As características intrínsecas à tecnologia de RA podem estar relacionadas, principalmente, à sua capacidade de permitir a visualização de conceitos abstratos (ZHANG *et al.*, 2020), de ajudar na compreensão de materiais e conteúdos mais complexos (CEN *et al.*, 2019), de desenvolver capacidades visuais (RUBILAR *et al.*, 2019) e de reter conhecimento (SATPUTE e BANSODE, 2016). Os alunos, dessa forma, poderiam melhorar sua compreensão em relação à geometria molecular, preservar seus conhecimentos e desenvolver suas habilidades visuais, sendo, ainda, que esse conjunto de competências teria o potencial de ser utilizado de forma comparativa em suas representações, estimulando o desenvolvimento dos raciocínios de protótipo e baseado em similaridade.

Em outro esquema, ao analisar a primeira aula do Grupo I (tradicional) e a primeira aula do Grupo II (mediada pela RA), sendo que em ambas os estudantes não possuíam conhecimento em relação à geometria molecular, torna-se possível evidenciar a relação entre a realidade aumentada e os raciocínios de protótipo e baseado em similaridade. Os valores da primeira aula do Grupo I são os mesmos da relação avaliada anteriormente, não havendo registros desses raciocínios. No entanto, ao considerar a primeira aula do Grupo II, é possível inferir a influência da RA, havendo 7 ocorrências (43,75%) do raciocínio de protótipo e 3 casos (18,75%) do raciocínio baseado em similaridade.

Em contrapartida, observa-se uma redução do raciocínio baseado em regras com 6 ocorrências (37,5%) e a inexistência de casos condizentes ao raciocínio baseado em banco de memória. Nesse esquema a ausência da RA na primeira aula do Grupo I permite sugerir o prevaletimento do raciocínio baseado em regras. Contudo, com sua presença, na primeira aula

do Grupo II, possibilita um número maior dos raciocínios vinculados ao modo de abstração parcial (protótipo e baseado em similaridade). No Grupo II, entretanto, não ocorre a predominância desses raciocínios. Ou seja, aparentemente, a RA possui grande capacidade de influenciar nas ocorrências dos raciocínios de protótipo e baseado em similaridade. No entanto, não na eminência de torná-los hegemônicos, como ocorreu nos raciocínios relacionados ao modo de abstração estrita (baseado em regras e baseado em banco de dados) no Grupo I.

Quando o Grupo II é analisado, percebe-se uma pequena alteração da primeira aula (mediada pela RA) para a segunda aula (tradicional). Na primeira aula há 7 ocorrências (43,75%) do raciocínio de protótipo e 3 (18,75%) do baseado em similaridade, passando para 6 casos (37,5%) e 4 (31,25%) respectivamente. Por outro lado, o raciocínio baseado em regras passou de 6 (37,5%) para 3 ocorrências (18,75%), com uma redução de 50%, e o raciocínio baseado em banco de memória, que não havia registrado ocorrências, foi alterado para 3 (18,75%).

Novamente, como ocorreu na segunda aula do Grupo I (media pela RA), ao ser ministrada a segunda aula do Grupo (tradicional), aparenta haver certo equilíbrio entre as ocorrências dos raciocínios. Isto é, com o desenvolvimento da segunda aula, independentemente de sua metodologia, percebe-se variações menores (melhor distribuição) na maioria das ocorrências de cada tipo de raciocínio. Por exemplo, na primeira aula do Grupo II tem-se o menor número sendo zero, relacionado ao raciocínio baseado em banco de memória e o maior sendo 7, condizente ao raciocínio de protótipo, havendo, assim, uma variação igual a 7. Já na segunda aula, do mesmo grupo, o menor valor é 3, referindo-se tanto ao raciocínio baseado em regras quanto ao baseado em banco de memória, e o maior valor é 6, relativo ao raciocínio de protótipo, totalizando uma variação de somente 3 ocorrências. Outras características também podem ser percebidas na segunda aula de ambos os grupos: houve pelo menos uma ocorrência de cada tipo de raciocínio e o número máximo não ultrapassou 8 casos.

Outro aspecto relevante a ser observado é o predomínio do raciocínio baseado em regras no Grupo I, sendo que no Grupo II o raciocínio de protótipo é preponderante. O que também pode estar relacionado à realidade aumentada, visto que no Grupo I esta tecnologia somente foi empregada na segunda aula, permitindo que os alunos tivessem o primeiro contato no tópico de geometria molecular por meio do método tradicional de ensino. Essa peculiaridade pode ter sido determinante para a definição da forma de trabalho dos alunos, que os conduziram a empregar o raciocínio baseado em regras. Por outro lado, no Grupo II, pela primeira aula ter sido mediada pela realidade aumentada, embora se perceba a existência de traços relacionados ao raciocínio baseado em regras, há uma prevalência do raciocínio de protótipo. Dessa forma,

é possível inferir que como a RA foi utilizada apenas na segunda aula do Grupo I, ela foi incapaz de influenciar e modificar uma forma pensar o processo de resolução de problemas de geometria molecular, já consolidada na primeira (tradicional). Contudo, quando a RA foi utilizada na primeira aula do Grupo II, sendo que os alunos não estavam apropriados de outra metodologia de ensino, ela foi suficientemente capaz de influenciar na maneira como os alunos solucionaram os problemas. Assim, os raciocínios de protótipo e baseado em similaridade prevaleceram, sendo fortes o suficiente para continuarem superiores na segunda aula, mesmo sendo desenvolvida com o método tradicional.

No momento em que os tipos de raciocínio são analisados de uma perspectiva geral, percebe-se uma predominância do modo de abstração estrita, com 37 ocorrências (57,81%), sendo 28 (43,75%) dirigidas ao raciocínio baseado em regras (maior valor entre os raciocínios) e 9 (15,06%) ao raciocínio baseado em banco de memória. Esses valores assemelham-se aos encontrados na pesquisa de Weinrich e Sevan (2017), que indicaram que 58,75% dos raciocínios estavam relacionados ao modo de abstração estrita, contudo, de forma inversa, o raciocínio baseado em regras apresentava 23,75% dos casos e o raciocínio baseado em banco memória 35%.

Com valores menos expressivos estão os raciocínios voltados ao modo parcial, com o raciocínio de protótipo apresentando 18 casos (28,12%) e baseado em similaridade com 9 (14,06%), totalizando 27 casos (42,18%). Do mesmo modo se aproxima do trabalho de Weinrich e Sevan (2017), que apresentaram valores semelhantes quando o modo de abstração parcial é considerado, representando 41,25%, porém, apontaram valores divergentes: raciocínio de protótipo com 11,25% e raciocínio baseado em similaridade com 30%.

A hegemonia do raciocínio baseado em regras pode ser identificada em outros estudos. Kraft, Strickland e Bhattacharyya (2010) e Christian e Talanquer (2012) observaram três tipos de raciocínio em alunos de pós-graduação e quatro tipos de raciocínio em estudantes de graduação, respectivamente, na resolução de problemas em química orgânica. Igualmente, eles denominaram três tipos principais de raciocínio, a saber: baseado em regras, baseado em casos e baseado em modelos. O aspecto significativo, no entanto, comum a ambos os estudos é a predominância do raciocínio baseado em regras. Uma síntese dos resultados, oriunda das duas pesquisas, caracterizaria o raciocínio baseado em regras como a utilização de regras ou padrões induzidos a partir de experiências ou modelos mentais para deduzir a solução de um problema. Essa caracterização, de certa forma, aparenta ser consistente com muitos dos casos de raciocínio baseado em regras definidos por meio da estrutura de mapeamento de representação desta Tese.

O predomínio de resultados condizentes ao raciocínio baseado em regras, também é observada na pesquisa de Sevian *et al.* (2015), que apresentou um índice de 60% direcionado a esse tipo de raciocínio. Na busca de explicações plausíveis da existência de uma hegemonia de raciocínios baseados em regras, inúmeros argumentos podem ser considerados. Por exemplo, Gillespie e Robinson (2005) afirmam que regras devem ser empregadas para a correta definição da geometria molecular. Em um contexto mais amplo na Química, pode ser uma indicação de que, ao longo dos anos de estudo, os alunos são ensinados a seguir processos de regras com mais frequência do que processos de similaridade.

Esse pensamento, igualmente, está de acordo com os resultados encontrados por Raker e Towns (2010), que descobriram que a maioria dos problemas empregados em Química Orgânica exigia a utilização de regras. Uma explicação alternativa, segundo Sevian *et al.* (2015), poderia ser que os processos de regras são mais fáceis de usar do que os de similaridade. Ou seja, memorizar um conjunto de regras e seguir um passo a passo poderia ser mais fácil quando comparado à necessidade de lembrar de problemas semelhantes (ou segmentos destes) e relacioná-los com o problema em questão. Essa dificuldade talvez seja expandida no momento em que são consideradas relações buscando similaridades entre modelos moleculares. O que exigiria dos estudantes uma capacidade de visualização mental adequada desses modelos, mesmo considerando somente características superficiais, isto é, imaginando representações visuais simples que, de acordo com Cipriano e Gleicher (2007), são particularmente úteis para realizar comparações entre estruturas moleculares.

Em suma, foram observadas possíveis relações entre a tecnologia de realidade aumentada e a ocorrência dos tipos de raciocínios vinculados ao modo de abstração parcial (raciocínio de protótipo e baseado em similaridade). Não houve ocorrências destes raciocínios na primeira aula do Grupo I (aula tradicional), sendo possível observá-las somente após o desenvolvimento de aulas ministradas com RA. Tanto na segunda aula do Grupo (mediada pela RA), quanto na segunda aula do Grupo II (tradicional), foi identificado um equilíbrio entre os índices de cada tipo de raciocínio, não havendo grandes variações, como na primeira aula do Grupo I. Por fim, os resultados permitiram identificar predomínio do raciocínio baseado em regras.

Na próxima seção são apresentados padrões compreendendo o nível de abstração, o modo de abstração e os raciocínios identificados nas resoluções de problemas de geometria molecular.

4.4 Associações entre Abstração, Processos de Raciocínio e Capacidade de Visualização Molecular Mental

Buscando simplificar e otimizar a identificação de possíveis padrões, os principais resultados encontrados nesta pesquisa foram compilados na Tabela 28. A inferência da existência destes padrões contempla associações entre o nível de abstração, modo de abstração, processo de raciocínio, capacidade de visualização molecular mental, média de notas e o acerto na resolução de problemas.

A Tabela 28 está segmentada horizontalmente em dois grupos (G I e G II), compostos por seus respectivos alunos. Verticalmente está seccionada em três colunas, sendo que duas representam o formato das aulas: aula tradicional ou aula com realidade aumentada. Por sua vez, cada coluna divide-se em outras duas colunas, que correspondem ao problema resolvido. Problemas que iniciam com o número “1” correspondem a problemas que os alunos já haviam trabalhado em aula, diferentemente dos que principiam com o número “2”, que simbolizam problemas que os estudantes não tiveram contato. Os que possuem a letra “A” em sua nomenclatura, foram problemas contemplados nas primeiras aulas (primeiro encontro), já os que contêm a letra “B”, foram abordados nas aulas seguintes (segundo encontro). A última coluna refere-se às médias do primeiro semestre (período que ocorreu o experimento) dos alunos na disciplina de Química.

Cada problema possui quatro colunas representando o nível de abstração (N), o modo de abstração (M), a capacidade de visualização molecular mental (V) e o acerto de resolução de problemas (A). O modo de abstração pode assumir os valores estrito (E), parcial (P), estrito sobressalente (Es) e parcial sobressalente (Ps). O nível de abstração indica, respectivamente, o nível da representação armazenada e o nível da representação de nova instância, assumindo o valor “-” para um nível baixo e “+” para um nível alto. A capacidade de visualização molecular mental, refere-se à capacidade do aluno visualizar mentalmente (imaginar) a molécula na forma 3D, sendo representada com o atributo “-” (indicando incapacidade de visualização), com “^” (significando capacidade parcial de visualização) e “+” (denotando capacidade de visualização).

Por fim, o acerto na resolução de problemas diz respeito à exatidão e à correção da resposta: “-” (incorreto), denota que os erros cometidos para determinar a geometria molecular, não permitem que a resposta correta seja alcançada; “^” (plausível), significa que o aluno resolveu de forma parcialmente correta, porém errou a resposta. O erro cometido está relacionado a um elemento pormenorizado, como, por exemplo, desenvolver o problema e

desenhar a geometria de forma correta, contudo, definir a nomenclatura da geometria molecular de incorreta; “+” (correto), indica que resolveu de forma correta, que obteve uma resposta correta.

Tabela 28 - Compilação dos resultados.

Grupo	Aluno	Aula Tradicional								Aula com Realidade Aumentada								Média
		1A				2A				1B				2B				
		N	M	V	A	N	M	V	A	N	M	V	A	N	M	V	A	
G I	01	+-	E	-	+	+-	E	-	+	+-	Es	+	+	+-	Es	+	+	8,8
	02	-+	E	-	-	--	E	-	-	--	P	+	^	--	Es	+	+	4,6
	03	+-	Es	-	^	+-	E	-	+	+-	E	+	+	+-	E	+	+	8,5
	04	--	E	-	+	--	E	-	-	+-	P	+	-	--	P	+	+	5,4
	05	-+	E	-	-	--	E	-	-	+-	Es	+	+	+-	P	+	+	6,9
	06	+-	E	-	-	--	E	-	-	+-	E	+	+	+-	Ps	+	+	7,2
	07	+-	E	^	^	+-	E	^	^	+-	Ps	+	+	+-	Ps	+	+	9,4
	08	+-	E	-	^	+-	Es	-	+	+-	E	+	+	+-	Es	+	+	9,5
Grupo	Aluno	Aula com Realidade Aumentada								Aula Tradicional								Média
		1A				2A				1B				2B				
		N	M	V	A	N	M	V	A	N	M	V	A	N	M	V	A	
G II	10	+-	Es	+	+	+-	P	+	^	+-	Ps	+	+	+-	P	+	+	10,0
	11	+-	Es	+	+	+-	Es	+	+	+-	Ps	+	+	+-	Ps	+	+	9,9
	12	+-	Es	+	^	+-	P	+	^	++	Ps	+	+	++	Ps	+	+	9,2
	13	+-	P	+	+	+-	P	+	^	+-	Es	+	-	--	Es	+	+	8,9
	14	+-	P	+	^	+-	Es	+	+	+-	Ps	+	^	+-	Es	+	+	9,4
	15	+-	E	^	+	--	P	^	+	--	E	+	^	+-	Es	+	+	7,2
	16	+-	P	^	-	--	P	^	-	--	E	^	-	--	P	^	-	6,2
	17	+-	P	^	^	--	P	^	^	--	P	^	-	+-	P	^	+	6,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Não próximas seções são discutidos os principais resultados encontrados nesta tese, compilados na Tabela 28. Para tanto, são realizadas análises procurando por possíveis relações entre nível de abstração e acerto da resolução de problemas, capacidade de visualização molecular mental e acerto de resoluções de problemas e, por fim, nível de abstração, modo de abstração, processo de raciocínio, capacidade de visualização e média de notas.

4.4.1 Observação da Influência do Nível de Abstração no Acerto de Resoluções de Problemas

A análise de possíveis influências do nível de abstração no acerto de resoluções de problemas considera as informações presentes na Tabela 29, sendo apontados dois aspectos

principais. O **primeiro** refere-se ao maior número de respostas erradas relacionado à representação do conhecimento armazenado com nível de abstração baixo (“- +” e “- -”). Mesmo que o nível de abstração diferente com o nível de representação do conhecimento armazenado menor do que a representação de nova instância (“- +”) seja observado somente na aula tradicional (1A - 2A), ao ser somando com nível de abstração aproximado/igual com o nível de abstração de representação do conhecimento armazenado e de representação de nova instância baixos (“- -”), são obtidos números significativos. Levando em conta, respectivamente, 2 duas ocorrências (12,5%) e 4 ocorrências (25%), atinge-se 6 respostas erradas (37,5%) na primeira aula tradicional.

Tabela 29 - Associações entre nível de abstração e acertos em resoluções.

Grupo	Nível de Abstração	Aula Tradicional			Aula Realidade Aumentada		
		1A - 2A			1B - 2B		
		Acerto da Resolução			Acerto da Resolução		
	+	^	-	+	^	-	
GI	+ -	4 (25%)	4 (25%)	1 (6,25%)	12 (75%)	0 (0%)	1 (6,25%)
	- +	0 (0%)	0 (0%)	2 (12,5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	--	1 (6,25%)	0 (0%)	4 (25%)	2 (12,5%)	1 (6,25%)	0 (0%)
	++	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Grupo	Nível de Abstração	Aula Realidade Aumentada			Aula Tradicional		
		1A - 2A			1B - 2B		
		Acerto da Resolução			Acerto da Resolução		
	+	^	-	+	^	-	
GII	+ -	6 (37,5%)	6 (37,5%)	1 (6,25%)	7 (43,75%)	1 (6,25%)	1 (6,25%)
	- +	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	--	1 (6,25%)	1 (6,25%)	1 (6,25%)	1 (6,25%)	1 (6,25%)	3 (18,75%)
	++	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (12,5%)	0 (0%)	0 (0%)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando as resoluções erradas relacionadas as duas aulas tradicionais (1A - 2A) e (1B - 2B), obtêm-se 11 casos (34,37%) de um conjunto de 36 respostas possíveis. Destes 11 casos, 9 (81,82%) são condizentes à representação do conhecimento armazenado com nível de abstração baixo (“- +” e “- -”). Sendo, ainda, possível destacar a presença do nível de abstração

(“- -”) em 7 ocorrências (63,63%) entre as respostas erradas. Por outro lado, nas aulas ministradas com realidade aumentada, em 32 resoluções possíveis, foi identificado somente um caso (3,12%) referente à representação do conhecimento armazenado com nível de abstração baixo (primeira aula do Grupo II).

O **segundo** aspecto refere-se ao maior número de respostas certas relacionado à representação do conhecimento armazenado com nível de abstração alto (“+ -”). Esse nível pode ser observado de forma predominante na aula ministrada com realidade aumentada (segunda aula do Grupo I), com 12 ocorrências (75%). Ao somar esse número aos casos de nível de abstração “+ -” da aula com realidade aumentada (primeira aula do Grupo II), igualmente relacionados às resoluções corretas, atinge-se um valor de 18 ocorrências (56,25%), entre 32 respostas. Quando se considera, neste mesmo conjunto de respostas, também resoluções parcialmente corretas (descartando todas as incorretas) condizentes ao nível de abstração “+ -”, resultam 24 ocorrências (75%). Em contrapartida, quando são consideradas respostas corretas e parcialmente corretas relacionadas ao nível de abstração “+ -” em aulas tradicionais, atinge-se um número inferior de 16 casos (50%).

Em uma perspectiva geral, considerando 64 respostas (Tabela 30), é possível identificar que o maior número de resoluções incorretas, representadas por 8 casos (12,8%), está vinculado ao nível de abstração aproximado/igual com a representação do conhecimento armazenado e com a representação de nova instância ambos baixos (“- -”). Esse número está alinhado aos valores encontrado na pesquisa de Weinrich e Sevian (2017) que, igualmente, identificaram o maior índice de resoluções incorretas relacionadas ao nível de abstração “- -”, com 13 ocorrências (16,25%). Por outro lado, o maior índice de respostas corretas está relacionado ao desenvolvimento de resoluções caracterizadas com o nível de abstração diferente com a representação do conhecimento armazenado maior do que a representação de nova instância, correspondendo a 29 ocorrências (45,31%).

Mesmo que não sejam observadas respostas corretas no nível de abstração diferente “- +”, ao considerar o conjunto “nível de abstração diferente”, tem-se resultados semelhantes aos encontrados no trabalho de Sevian *et al.* (2015). Os autores identificaram o maior número de resoluções corretas relacionadas ao conjunto “nível de abstração diferente”, totalizando 20 ocorrências (67%). Considerando, no entanto, todas as resoluções definidas como não incorretas, ou seja, respostas corretas e parcialmente corretas, atinge-se 40 ocorrências (62,49%).

Tabela 30 - Total de associações entre nível de abstração e acertos em resoluções.

Nível de Abstração	Acerto da Resolução		
	+	^	-
+ -	29 (45,31%)	11 (17,18%)	4 (6,25%)
- +	0 (0%)	0 (0%)	2 (3,12%)
--	5 (7,81%)	3 (4,68%)	8 (12,5%)
++	2 (3,12%)	0 (0%)	0 (0%)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar o nível de abstração diferente “+ -” vinculado ao maior número de respostas corretas e o nível de abstração aproximado/igual “- -” relacionado ao maior índice de resoluções incorretas, observa-se que a representação de nova instância com nível baixo (“-”) está presente em ambos os casos. Contudo, o que difere é a representação do conhecimento armazenado com maior nível de abstração (“+”) existente somente em resoluções corretas. Esse aspecto também foi reconhecido por Weinrich e Sevian (2017), cuja pesquisa verificou que os alunos que propuseram soluções plausíveis utilizaram níveis mais elevados de abstração em suas representações do que os alunos que propuseram soluções implausíveis.

O entendimento de que a representação do conhecimento armazenado com um nível de abstração alto permita o desenvolvimento de resoluções corretas pode estar relacionado ao fato de que, para o trabalho com o tópico de geometria molecular, recorrer a diferentes tipos de informações para resolver os problemas seja mais eficiente quando comparado a focar em características descritivas dos mesmos.

Possivelmente, como observado por Weinrich e Sevian (2017) e por Grove, Cooper e Rush (2012), quando os estudantes tendem a empregar diferentes tipos de informações, eles podem buscar a inclusão de conceitos adicionais. Ou seja, incorporar ideias que não foram explicitamente mencionadas no problema fornecido e, ainda, vincular o problema às relações subjacentes, ampliando e criando novas conexões relacionadas. Por exemplo, criando relações com o conceito de pares de elétrons livres, de repulsão entre nuvens eletrônicas e da fórmula de Lewis.

4.4.2 Observação da Influência da Capacidade de Visualização Molecular Mental no Acerto de Resoluções de Problemas

Nesta seção são abordadas possíveis influências da capacidade de visualização molecular mental no acerto de resoluções de problemas de geometria molecular. O conceito de capacidade de visualização molecular mental está alinhado à definição de habilidade de visualização espacial, que de acordo com Yilmaz *et al.* (2015), é compreendida como um conjunto de habilidades empregadas pelo aluno para visualizar mentalmente objetos, entendendo de diferentes perspectivas e transladá-los.

Nesta tese, no entanto, a definição de capacidade de visualização molecular mental refere-se, especificamente, à capacidade do estudante visualizar mentalmente (imaginar) a molécula em sua forma tridimensional. É importante ressaltar que não são consideradas mensurações de graus de capacidade de visualização molecular mental, considerando rotações e/ou translações de objetos mentais, mas, sim, indicações da incapacidade de visualização (“-”), da capacidade parcial de visualização (“^”) e da capacidade de visualização (“+”).

Para a obtenção desses indicadores foram coletadas informações durante as entrevistas de duas formas distintas. A primeira ocorreu por meio de perguntas diretas do pesquisador aos entrevistados como “Você consegue imaginar essa molécula em uma forma 3D?”. As respostas dessa primeira forma de coleta foram compiladas na Tabela 28, Tabela 31 e Tabela 32. A segunda forma de coleta aconteceu com o preenchimento da atividade de apoio à pesquisa (Apêndice IV), cuja estrutura permitiu identificar, entre outros aspectos, a existência ou não da capacidade de visualização molecular mental (conceito relativo à letra “F”), bem como a ordem de ocorrência. Os resultados da atividade de apoio à pesquisa estão organizados no Apêndice IV, cuja estrutura é composta por colunas de A a F que correspondem aos conceitos apresentados no Apêndice IV, já os números de 1 a 6 referem-se à ordem em que cada aluno pensou os conceitos. Neste contexto, a atribuição de “0” a determinado conceito significa que o aluno não o considerou em sua resolução.

Ao iniciar a análise, são considerados os valores presentes na Tabela 31, que dispõe de associações entre a capacidade visualização molecular mental e acertos em resoluções de problemas de geometria molecular. O principal aspecto observado está presente no Grupo I, cuja variação de valores condizentes à capacidade visualização molecular mental e aos acertos em resoluções é expressiva.

Tabela 31 - Associações entre visualização molecular mental e acertos em resoluções.

Grupo	Capacidade de Visualização	Aula Tradicional			Aula Realidade Aumentada		
		1A - 2A			1B - 2B		
		Acerto de Resolução			Acerto de Resolução		
	+	^	-	+	^	-	
GI	+	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	14 (87,5%)	1 (6,25%)	1 (6,25%)
	^	0 (0%)	2 (12,5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	-	5 (31,25%)	2 (12,5%)	7 (43,75%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Grupo	Capacidade de Visualização	Aula Realidade Aumentada			Aula Tradicional		
		1A - 2A			1B - 2B		
		Acerto de Resolução			Acerto de Resolução		
	+	^	-	+	^	-	
GII	+	5 (31,25%)	5 (31,25%)	0 (0%)	9 (56,25%)	2 (12,5%)	1 (6,25%)
	^	2 (12,5%)	2 (12,5%)	2 (12,5%)	1 (6,25%)	0 (0%)	3 (18,75%)
	-	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na primeira aula do Grupo I, ministrada de forma tradicional, identificou-se uma concentração de valores referentes à incapacidade de visualização molecular mental (“-”), que somados correspondem a 14 casos (87,5%). Não foram observadas ocorrências de resoluções relativas à capacidade de visualização molecular mental (“+”) e apenas 2 (12,5%) relacionadas ao acerto parcial de resolução quando também houve ocorrências de capacidade parcial de visualização (“^”). Este cenário, predominantemente composto pela incapacidade de visualização molecular mental, é ratificado por meio de informações trazidas pelo conceito “F” da atividade de apoio à pesquisa (Apêndice IV).

Este conceito é explicitado empregando a afirmação “Imaginei a molécula e pensei nas geometrias possíveis, considerando o número de átomos envolvidos”, o que permitiu ao aluno informar que, de alguma forma, foi capaz de imaginar qualquer tipo de modelo que representasse determinada estrutura molecular. Dessa maneira, com a análise das informações presentes no Apêndice VII, é possível constatar a inexistência do conceito “F” na primeira aula do Grupo I (aula tradicional), sendo atribuído “0” a este conceito em todas as resoluções (coluna destacada em laranja no Apêndice VII).

Entre os 14 casos (87,5%) condizentes à incapacidade de visualização molecular mental (“-”), somente 31,25% (5 ocorrências) referem-se a resoluções corretamente desenvolvidas (“+”) e 43,75% (7 casos) a resoluções incorretas (“-”). Por outro lado, na segunda aula do Grupo I, ministrada com o uso da realidade aumentada, observa-se uma total concentração de casos relacionados à capacidade de visualização molecular mental (“+”). Ao mesmo tempo, 14 ocorrências (87,5%) foram definidas como possuindo respostas corretas e apenas um caso (6,25%) determinado como sendo incorreto.

Quando é considerado um esquema de análise envolvendo a primeira aula do Grupo I (tradicional) e a primeira aula do Grupo II (com realidade aumentada), igualmente, identifica-se uma relação entre a capacidade de visualização molecular mental e acertos de resoluções. Diferentemente dos valores concentrados tanto na incapacidade de visualização quanto nas respostas incorretas, na primeira aula do Grupo I, a primeira aula do Grupo II possui um maior agrupamento de ocorrências relacionado à capacidade de visualização e capacidade parcial de visualização molecular mental, cada uma com 5 casos (31,25%). No entanto, não são percebidas ocorrências relacionadas à incapacidade de visualização e com isso, inexitem casos de resoluções incorretas relativas à esta. São percebidas somente 2 respostas incorretas (12,5%) referentes à capacidade parcial de visualização molecular mental.

Ao analisar a relação entre a primeira aula do Grupo II (com realidade aumentada) e a segunda aula do Grupo II (tradicional), na segunda ocorre um aumento de respostas corretas relacionadas à capacidade de visualização molecular mental, alterando de 5 (31,25%) para 9 casos (56,25%). Apenas houve um aumento de 1 caso (6,25%) de respostas incorretas relacionadas à capacidade parcial de visualização, que passou de 2 (12,5%) para 3 ocorrências (18,75%).

Considerando uma perspectiva geral, apresentada na Tabela 32, torna-se mais simples o processo de inferência da influência da capacidade de visualização molecular mental no acerto de resoluções. Isso ocorre uma vez que é perceptível que com o aumento da capacidade de visualização molecular mental (“+”), também ocorre o aumento de acertos de respostas (“+”), atingindo 28 casos (43,75%), o maior índice de resoluções definidas como corretas. O contrário é identificado quando é observada a incapacidade de visualização molecular mental (“-”), que está relacionada ao maior número de resoluções caracterizadas como incorretas (“-”), totalizando 7 casos (10,94%).

Tabela 32 - Perspectiva geral de associações entre visualização molecular e acertos em resoluções.

Capacidade de Visualização	Acerto de Resolução		
	+	^	-
+	28 (43,75%)	8 (12,5%)	2 (3,12%)
^	3 (4,69%)	4 (6,25%)	5 (7,81%)
-	5 (7,81%)	2 (3,12%)	7 (10,94%)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse cenário corrobora a ideia Maier e Klinker (2013) de que a dificuldade de compreensão de estruturas moleculares pode ocorrer devido ao fato de os alunos não conseguirem imaginar a estrutura espacial das moléculas que são ensinadas, pois normalmente é utilizada uma representação bidimensional por meio de slides ou do próprio quadro. Isso pode ser evidenciado ao observar a primeira aula do Grupo I ministrada no formato tradicional, onde foram identificados 14 casos (87,5%) referentes à incapacidade de visualização molecular mental (“-”) e, simultaneamente, não houve ocorrências de respostas corretas ou de respostas parcialmente corretas, mas somente de respostas incorretas. O número de respostas certas apenas aumentou na segunda aula, quando também aumentou a capacidade de visualização molecular mental (“+”), atingindo 14 casos (87,5%).

A possível influência da capacidade de visualização molecular mental em acertos de resoluções de problemas identificada nesta tese encontra-se alinhada à pesquisa de Wulandari *et al.* (2019), que relataram a facilidade do aprendizado da geometria molecular mediante o estímulo da capacidade de visualização mental dos alunos, por meio da RA. Zhu *et al.* (2018), igualmente, identificaram relações do desenvolvimento de habilidades espaciais com a melhora no desempenho dos estudantes em experimentos utilizando RA. Maier e Klinker (2012) apresentaram resultados revelando que o desempenho dos alunos, em assuntos relacionados às estruturas moleculares, melhorou ao mesmo tempo que habilidades visoespaciais foram desenvolvidas com o emprego da RA.

Outro aspecto relevante a ser observado é a possível influência da tecnologia de realidade aumentada no desenvolvimento da capacidade de visualização molecular mental. Isso pode ser inferido ao analisar a ausência desta capacidade na primeira aula do Grupo I, que foi ministrada no formato tradicional, passando a existir expressivamente na segunda aula deste grupo, desenvolvida com o uso da RA. Pode ser deduzido, igualmente, ao comparar a primeira

aula do Grupo I (tradicional) com a primeira aula do Grupo II (ministrada com RA). Nesta relação somente houve ocorrências da capacidade de visualização molecular mental na primeira aula do Grupo II, não sendo percebida na primeira aula do Grupo I.

Por fim, é plausível inferir que existam influências da tecnologia de realidade aumentada no desenvolvimento da capacidade de visualização molecular mental que, por sua vez, influencia no acerto de resoluções de problemas referente à geometria molecular.

4.4.3 Tendências da Abstração, do Processo de Raciocínio e da Capacidade de Visualização Molecular Mental na Média de Notas

Esta seção objetiva identificar as principais tendências condizentes ao relacionamento do nível de abstração, do modo de abstração, dos processos de raciocínio e da capacidade de visualização molecular mental com as médias de notas da disciplina de Química, relativas ao semestre em que o experimento foi realizado. A Tabela 33 apresenta duas estruturas iguais a primeira referente às aulas tradicionais e a segunda às aulas com realidade aumentada. Cada linha representa um intervalo de médias (“menor que 7,0”, “entre 7,0 e 9,0” e “maior que 9,0”) que foi confrontado com cada coluna que reproduz um aspecto direcionado ao nível de abstração, ao modo de abstração, ao tipo de raciocínio e à capacidade de visualização. Cada aspecto, por sua vez, é segmento em suas subclassificações ou indicações de capacidade (visualização). Por exemplo, o raciocínio é fragmentado em quatro tipos: raciocínio de protótipo (P), raciocínio baseado em similaridade (S), raciocínio baseado em regras (R) e raciocínio baseado em banco de memória (BM).

Como cada aula corresponde a 16 problemas e estes foram agrupados conforme o tipo de aula, são considerados 32 problemas para aulas tradicionais e 32 para aulas com realidade aumentada. A Tabela 33, dessa forma, permite relacionar os três intervalos de médias com cada aspecto, apreciando 32 problemas, o que possibilitou identificar tendências no que tange a prováveis influências desses aspectos nas médias dos estudantes.

Neste contexto, foram reconhecidas três tendências principais. A **primeira** está relacionada aos estudantes que obtiveram médias inferiores a 7,0. Há tendência de alunos que tiveram médias menores que 7,0 em aulas tradicionais, de resolverem o maior número de problemas empregando o nível de aproximado/igual com as representações do conhecimento armazenado e de nova instância possuindo valores baixos (“- -”), totalizando 7 problemas (21,87%). Ao mesmo tempo que o modo de abstração estrita caracterizou o desenvolvimento da grande maioria dos problemas, contabilizando, igualmente, 7 problemas (21,87%). Já o

processo de raciocínio com mais ocorrências foi o baseado em banco de memória, presente em 5 problemas (15,62%).

Em relação a capacidade de visualização molecular, destaca-se a predominância de resoluções com a incapacidade de visualização (“-”), com 6 casos (18,75%). Quando esses aspectos são comparados com estudantes que obtiveram médias inferiores a 7,0 em aulas ministradas com realidade aumentada, há certa tendência de equilíbrio do nível de abstração entre diferente (“+ -”) e aproximado/igual, ambos presentes em 5 problemas (15,62%). O modo de abstração, por sua vez, é concentrado no parcial, com 8 ocorrências (25%), por outro lado, são percebidos processos raciocínio parcial e similar, ambos presentes em 4 respostas (12,5%). O aspecto visualização concentrou-se na capacidade de visualização molecular (“+”) em 6 problemas (18,75%).

Ao considerar uma perspectiva geral, abrangendo todas as aulas (64 problemas), exposta na Tabela 34, é possível perceber certa tendência de alunos que tiveram médias menores que 7,0 a desenvolverem problemas com nível de abstração aproximado/igual com ambas representações possuindo grau baixo (“- -”), presentes em resoluções de 12 problemas (18,75%). Igualmente, há predominância do modo de abstração parcial abrangendo 8 casos (25%), já processo de raciocínio tanto o baseado em similaridade quanto o baseado em banco de memória estão presentes em 6 problemas (9,37%). No que tange a visualização existe uma concentração na capacidade parcial de visualização (“^”), contendo 8 ocorrências (12,5%).

A **segunda** tendência está relacionada aos estudantes que obtiveram médias entre a 7,0 e 9,0. Há tendência de alunos que tiveram médias neste intervalo, em aulas tradicionais, de resolverem problemas utilizando o nível de abstração diferente com a representação do conhecimento armazenado maior do que a representação de nova instância (“+ -”), atingindo 7 casos (21,87%). No mesmo tempo em que o modo de abstração é concentrado no estrito sobressalente com 5 ocorrências (15,62%) e o processo de raciocínio no baseado em regras com 7 casos (21,87%). Já a visualização tem inclinação à incapacidade de visualização molecular mental (“-”), possuindo 6 ocorrências (18,75%). Em aulas ministradas com realidade aumentada, os alunos que obtiveram médias entre a 7,0 e 9,0 mantiveram a tendência de resolver problemas utilizando o nível de abstração diferente (“+ -”), caracterizada em 9 casos (28,12%), e empregando o processo de raciocínio baseado em regras, atingindo 6 ocorrências (18,75%). Por outro lado, há uma convergência para o modo de abstração estrita, presente em 6 problemas (18,75%) e uma propensão à capacidade de visualização molecular mental (“+”), observada em 8 casos (25%).

Tabela 33 - Compilação dos resultados relacionados à abstração, raciocínio, capacidade de visualização e média de notas.

Aulas Tradicionais															
Médias	Nível de Abstração				Modo de Abstração				Raciocínio				Visualização		
	Diferente		Aproximado		Parcial		Estrita		P	S	R	BM	+	^	-
	+-	-+	++	--	P	Ps	E	Es							
Menor que 7,0	1 3,12%	2 6,25%	0 0%	7 21,87%	3 9,37%	0 0%	7 21,87%	0 0%	1 3,12%	2 6,25%	2 6,25%	5 15,62%	0 0%	4 12,5%	6 18,75%
Entre 7,0 e 9,0	7 21,87%	0 0%	0 0%	3 9,37%	0 0%	1 3,12%	4 12,5%	5 15,62%	0 0%	0 0%	7 21,87%	3 9,37%	4 12,5%	0 0%	6 18,75%
Maior que 9,0	10 31,25%	0 0%	2 6,25%	0 0%	1 3,12%	6 18,75%	3 9,37%	2 6,25%	5 15,62%	2 6,25%	5 15,62%	0 0%	8 25%	2 6,25%	2 6,25%
TOTAL	18 56,25%	2 6,25%	2 6,25%	10 31,25%	4 12,5%	7 21,87%	14 43,75%	7 21,87%	6 18,75%	4 12,5%	14 43,75%	8 25%	12 37,5%	6 18,75%	14 43,75%
Aulas com Realidade Aumentada															
Médias	Nível de Abstração				Modo de Abstração				Raciocínio				Visualização		
	Diferente		Aproximado		Parcial		Estrita		P	S	R	BM	+	^	-
	+-	-+	++	--	P	Ps	E	Es							
Menor que 7,0	5 15,62%	0 0%	0 0%	5 15,62%	8 25%	0 0%	0 0%	2 6,25%	4 12,5%	4 12,5%	1 3,12%	1 3,12%	6 18,75%	4 12,5%	0 0%
Entre 7,0 e 9,0	9 28,12%	0 0%	0 0%	1 3,12%	3 9,37%	0 0%	6 18,75%	1 3,12%	3 9,37%	1 3,12%	6 18,75%	0 0%	8 25%	2 6,25%	0 0%
Maior que 9,0	12 37,5%	0 0%	0 0%	0 0%	3 9,37%	2 6,25%	1 3,12%	6 18,75%	5 15,62%	0 0%	7 21,87%	0 0%	12 37,5%	0 0%	0 0%
TOTAL	26 81,25%	0 0%	0 0%	6 18,75%	14 43,75%	2 6,25%	7 21,87%	9 28,12%	12 37,5%	5 15,62%	14 43,75%	1 3,12%	26 81,25%	6 18,75%	0 0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando uma abordagem geral (Tabela 34), os estudantes que obtiveram médias entre a 7,0 e 9,0 possuem tendências de empregar o nível de abstração diferente (“+ -”), abrangendo 16 casos (25%). Há inclinação em desenvolver resoluções utilizando o modo de abstração estrita, atingindo 10 ocorrências (15,62%), o maior número entre os três intervalos de médias. Igualmente, há propensões de usar o processo de raciocínio baseado em regras, abrangendo 13 casos (20,31%) e de possuírem capacidade de visualização molecular mental (“+”), constatada em respostas de 8 problemas (25%).

A **terceira** tendência diz respeito aos estudantes que obtiveram médias acima de 9,0. Existe tendência de alunos que tiveram médias acima deste número, em aulas tradicionais, de solucionarem problemas empregando o nível de abstração diferente com a representação do

conhecimento armazenado maior do que a representação de nova instância (“+ -”), atingindo 10 casos (31,25%), o maior número deste aspecto. Da mesma forma, o modo de abstração parcial sobressalente está presente na maioria das respostas, ocorrendo 6 vezes (18,75%), já o processo de raciocínio possui dois tipos com resultados equivalentes, tanto o raciocínio baseado em regras quanto o baseado em protótipo possuem 5 ocorrências (15,62%).

Em relação à visualização, estudantes que demonstraram ter capacidade de visualização molecular mental (“+”), representam o maior número, estando presentes em 8 resoluções (25%). Em aulas ministradas com realidade aumentada, os alunos que obtiveram médias acima de 9,0 mantiveram a tendência de resolver problemas utilizando o nível de abstração diferente (“+ -”), caracterizada em 12 casos (37,5%), o maior índice deste aspecto. Ao mesmo tempo, que empregaram o processo de raciocínio baseado em regras, atingindo 7 ocorrências (21,87%), também atingindo o maior índice deste aspecto. O modo de abstração, por sua vez, convergiu para a estrita sobressalente, contemplando 6 casos (18,75%). Evento semelhante ocorreu com a capacidade de visualização molecular mental (“+”), que atingiu 12 resoluções (37,5%), o maior número deste aspecto.

Tabela 34 - Compilação geral dos resultados relacionados à abstração, raciocínio, capacidade de visualização e média de notas.

Aulas Tradicionais e com Realidade Aumentada															
Médias	Nível de Abstração				Modo de Abstração				Raciocínio				Visualização		
	Diferente		Aproximado		Parcial		Estrita		P	S	R	BM	+	^	-
	+ -	- +	++	--	P	Ps	E	Es							
Menor que 7,0	6 9,37%	2 3,12%	0 0%	12 18,75%	11 17,18%	0 0%	7 10,93%	2 3,12%	5 7,81%	6 9,37%	3 6,25%	6 9,37%	6 9,37%	8 12,5%	6 9,37%
Entre 7,0 e 9,0	16 25%	0 0%	0 0%	4 6,25%	3 4,68%	1 1,56%	10 15,62%	6 9,37%	3 4,68%	1 1,56%	13 20,31%	3 6,25%	12 18,75%	2 3,12%	6 9,37%
Maior que 9,0	22 34,37%	0 0%	2 3,12%	0 0%	4 6,25%	8 12,5%	4 6,25%	8 12,5%	10 15,62%	2 3,12%	12 18,75%	0 0%	20 31,25%	2 3,12%	2 3,12%
TOTAL	44 68,74%	2 3,12%	2 3,12%	16 25%	18 28,12%	9 14,06%	21 32,81%	16 25%	18 28,12%	9 14,06%	28 43,75%	9 14,06%	38 59,37%	12 18,75%	14 21,87%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando uma abordagem geral (Tabela 34) é considerada, observa-se que os estudantes que obtiveram médias acima de 9,0 possuem tendências de empregar o nível de abstração diferente (“+ -”) abrangendo 22 casos (34,37%), o maior índice deste aspecto. Quando o aspecto modo de abstração é abordado, tem-se um equilíbrio entre o parcial sobressalente e a estrita

sobressalente, ambos com 8 ocorrências. Já o processo de raciocínio predominante é o baseado regras, empregado em 12 resoluções (18, 75%), ao mesmo tempo que há uma inclinação à capacidade de visualização molecular mental (“+”), atingindo o maior número, contemplada em 20 respostas (31,25%).

De forma geral, ao se considerar um cenário composto, essencialmente, por alunos com médias inferiores a 7,0 e superiores a 9,0, pode-se identificar a existência de dois perfis distintos de alunos. Estes, por sua vez, em tese, poderiam refletir suas respectivas características e recursos, empregados no processo resolução de problemas de geometria molecular, nos demais tópicos da disciplina de Química. Dessa forma, o **primeiro perfil** estaria relacionado aos estudantes que obtiveram médias inferiores a 7,0. Estes apresentariam tendências a resolver problemas contemplando níveis de abstração baixos (“- -”), modo de abstração com correspondência parcial, processos de raciocínios tanto baseado em similaridade quanto baseado em banco de memória e capacidade parcial de visualização molecular mental (“^”). O **segundo perfil** estaria vinculado aos alunos cujas médias obtidas foram superiores a 9,0. Estes, por outro lado, apresentariam tendências a resolver problemas contemplando níveis de abstração diferente (“+ -”), tanto modo de abstração parcial sobressalente quanto estrita sobressalente, processo de raciocínio baseado em regras e alto índice de capacidade de visualização molecular mental (“+”).

No que tange aos níveis de abstração, uma explicação plausível para associar os níveis baixos de ambas as representações (“- -”) aos alunos com médias inferiores a 7,0, pode estar relacionado à incapacidade de realizarem o aprofundamento de características implícitas, bem como de concretizarem ligações subjacentes. Isso poderia fazer com que os estudantes permaneçam na superficialidade conceitual (WEINRICH e SEVIAN, 2017), limitando e dificultando a compreensão dos tópicos abordados em Química. Por outro lado, vincular o nível de abstração diferente com a representação do conhecimento armazenado alto e a representação de nova instância baixa (“+ -”) aos alunos com médias superiores a 9,0, pode estar relacionado, como afirmado por Sevian *et al.* (2015), à capacidade de aplicarem diferentes recursos para resolverem problemas distintos. Neste contexto, contudo, essa capacidade seria aplicada para trabalharem em diferentes assuntos da Química. Esses recursos poderiam ser exemplos vistos em aula, relações com conceitos semelhantes e analogias com fórmulas e gráficos. Assim, também ficaria alinhado à pesquisa de Domin e Bodner (2012) que identificou que representações caracterizadas por possuírem maiores detalhamentos, tornando-se mais completas, justamente por utilizarem diferentes recursos em suas construções, estão associadas a solucionadores de problemas bem-sucedidos.

Em relação ao modo de abstração, a associação do modo parcial aos alunos com médias inferiores a 7,0, pode ser justificada pela incapacidade de os alunos utilizarem corretamente o este modo. Possivelmente esta forma de correspondência de representações não esteja suficientemente desenvolvida, isto é, os estudantes não são hábeis para combinarem parcialmente suas representações, buscando associar o problema em questão a experiências anteriores de maneira parcial. Já ao vincular os alunos com médias superiores a 9,0 tanto ao modo de abstração parcial sobressalente quanto à estrita sobressalente pode ser explicada pela capacidade de corresponderem as representações utilizando ambos os modos simultaneamente. Ou seja, estes estudantes foram suficientemente capazes de realizar associações entre as representações contemplando tanto o modo parcial, relacionando determinado problema a experiências anteriores de maneira parcial quanto o modo de abstração estrita, procurando resolver problemas, essencialmente, por meio de regras. O que permite expandindo a ideia de Brown *et al.* (2016), para os mais diversificados tópicos da Química, de que os procedimentos condizentes ao trabalho com a geometria molecular são alicerçados em seguir corretamente etapas pré-estabelecidas, ou seja, seguir regras.

No que se refere ao processo de raciocínio, uma explicação aceitável para associar tanto o raciocínio baseado em similaridade quanto o baseado em banco de memória aos alunos com médias inferiores a 7,0, pode estar relacionado a ligação destes aos baixos níveis de abstração de ambas as representações (“- -”). Ou seja, para caracterizar estes tipos de raciocínio, o nível de abstração deve ser aproximado/igual (“- -” ou “+ +”), e como há somente dois casos de (“+ +”), existe um predomínio do nível de abstração (“- -”). Dessa forma, também fica coerente com a associação dos baixos níveis de abstração de ambas as representações (“- -”) aos alunos com médias inferiores a 7,0. Por outro lado, correlacionar o processo de raciocínio baseado em regras aos alunos com médias superiores a 9,0, permite inferir que para os alunos atingirem desempenhos significativos, devam ser capazes de além de desenvolverem o nível de abstração diferente (“+ -”) também sejam hábeis para raciocinar por meio de regras. Assim, também corroboraria as pesquisas de Gillespie e Robinson (2005), que afirmam haver a necessidade de utilização de regras para resolverem corretamente problemas de geometria molecular e de Raker e Towns (2010), que revelam que a maioria dos problemas empregados em Química Orgânica demanda a utilização de regras.

Por fim, em relação à visualização, a associação da capacidade parcial de visualização molecular mental (“^”) aos alunos com médias inferiores a 7,0 pode ser justificada pela incapacidade destes de gerarem, mentalmente, estruturas moleculares suficientemente completas e adequadas. Dessa forma, essa incapacidade de visualização poderia prejudicar a

compreensão e a aprendizagem não somente da geometria molecular, mas, também, de diversos assuntos relevantes da Química (NAZAR *et al.*, 2020). O que também é evidenciado por Maier e Klinker (2013), que enfatizam que o maior obstáculo à compreensão de estruturas moleculares pode ocorrer pela razão de os estudantes não conseguirem imaginar a estrutura espacial de moléculas. Esse cenário é ratificado no momento em que alunos com médias superiores a 9,0 são vinculados a um alto índice de capacidade de visualização molecular mental (“+”). Isso permite inferir que estudantes com capacidade de visualização molecular mental tenham melhor compreensão do conteúdo e, conseqüentemente, melhor desempenho. Essa ideia também é reconhecida pelas pesquisas de Wulandari *et al.* (2019), Irwansyah *et al.* (2020) e Cen *et al.* (2019).

A seguir é apresentado o fechamento desta tese por meio do seu quinto e último capítulo, que contempla as conclusões, limitações, demais contribuições e trabalhos futuros.

5 CONCLUSÃO

Na Química, a resolução de problemas é uma atividade complexa e plurifacetada. Esses aspectos demandam que estudantes empreguem diferentes abordagens e competências, compreendendo recursos conceituais e práticos (TSAPARLIS, 2021), exigindo a constante utilização de abstrações (TABER, 2013). A abstração é vista como um aspecto crucial para gerar solução a determinado problema que, por sua vez, implica, normalmente, segundo Getzels e Csikszentmihalyi (2017), a ocorrência de aprendizagem, quando um esquema de conhecimento existente é modificado ou um novo esquema de conhecimento é estabelecido.

Conceitos abstratos são utilizados durante o processo de resolução de problemas em Química (WEINRICH e SEVIAN, 2017) e visualizações são empregadas para concretizar esses conceitos abstratos, transformando o inobservável em símbolos visuais (HINZE *et al.*, 2013). A tecnologia de realidade aumentada permite que alunos visualizem modelos de estruturas submicroscópicas e interajam com conceitos abstratos e complexos (VIRATA e CASTRO, 2019), o que torna particularmente interessante sua aplicação na aprendizagem do tópico de geometria molecular.

Esta pesquisa, dessa forma, objetivou investigar como ocorre o desenvolvimento do processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular assistida pela tecnologia de realidade aumentada, a fim de contribuir para o avanço do conhecimento sobre o uso deste tipo de tecnologia como mediadora na aprendizagem de Química. O trabalho propôs a utilização do modelo de mapeamento de representação de Hahn e Chater (1998) e de Sevian *et al.* (2015), para caracterizar a abstração e os processos de raciocínio dos alunos durante a resolução de problemas de geometria molecular.

Para responder à questão de pesquisa “*Como se desenvolve o processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular assistida pela realidade aumentada?*” a abstração foi analisada em termos de nível de abstração e modo de abstração, o que também permitiu definir os processos de raciocínio. Dessa forma, ao aplicar o modelo de mapeamento de representação, foi possível identificar a representação de conhecimento armazenado e a representação de nova instância dos alunos, caracterizar o nível de abstração das representações e investigar como os estudantes combinaram suas representações (modo de abstração), enquanto resolviam problemas de geometria molecular.

Fundamentadas nas análises desenvolvidas nesta investigação, considerando seu contexto e indícios, seis afirmações principais relacionadas à abstração na resolução de problemas de geometria molecular podem ser expostas.

Afirmação 1. Há influência da tecnologia de realidade aumentada no nível de abstração diferente com representação do conhecimento armazenado maior que a representação de nova instância (“+ -”). Foi observado um crescimento do nível de abstração diferente (“+ -”) em aulas que utilizaram RA quando comparado às aulas ministradas no formato tradicional. Foram encontradas evidências de que a RA proporciona o desenvolvimento da abstração em termos de nível de abstração diferente com a representação do conhecimento armazenado definida como alta. Ou seja, há indícios de que a RA promova o aumento do nível de abstração da representação do conhecimento armazenado. O que igualmente permite inferir que há um direcionamento a um cenário onde o aluno desenvolve seu raciocínio priorizando informações utilizadas como recursos de resolução (por exemplo, lembranças de exemplos e exercícios trabalhados em aula) e não como ações (e/ou informações) empregadas para resolver o problema (por exemplo, identificar o número de ligações que cada átomo faz).

Afirmação 2. Há influência do nível de abstração no acerto de resoluções de problemas de geometria molecular. Esta afirmação justifica-se ao considerar duas descobertas. A primeira refere-se ao maior número de respostas erradas relacionado à representação do conhecimento armazenado com nível de abstração baixo (“- +” e “- -”). A segunda descoberta diz respeito ao maior quantitativo de respostas certas relacionado à representação do conhecimento armazenado com nível de abstração alto (“+ -”). Ao analisar o nível de abstração diferente “+ -” vinculado ao maior número de respostas corretas e o nível de abstração aproximado/igual “- -” relacionado ao maior índice de resoluções incorretas, observa-se que a representação de nova instância com nível baixo (“-”) está presente em ambos os casos. Contudo, o que difere é a representação do conhecimento armazenado com maior nível de abstração (“+”) existente somente em resoluções corretas.

Afirmação 3. Há relação entre a tecnologia de realidade aumentada e o modo de abstração parcial. Ao realizar a análise do desenvolvimento do processo de abstração em termos de modo de abstração, torna-se plausível admitir a existência de uma relação peculiar entre a tecnologia de realidade aumentada e o modo de abstração parcial. Esta afirmação é justificada baseando-se nos casos em que houve o emprego dessa tecnologia e em que ocorreu aumento do modo de

abstração parcial. Já em circunstâncias em que não houve a mediação utilizando RA, mantiveram-se as características da aula tradicional, neste caso, fundamentadas em regras, característico do modo de abstração estrito. No entanto, mesmo sendo observados indícios de que a RA possa influenciar no desenvolvimento no modo de abstração parcial, ao se considerar uma perspectiva geral, o predomínio do modo de abstração estrita é evidente. Porém, verificou-se que o modo de abstração parcial possuiu aspectos consideravelmente fortes para modificar grande parte desse cenário.

Afirmção 4. Há influência da tecnologia de realidade aumentada na ocorrência dos tipos de raciocínios vinculados ao modo de abstração parcial (raciocínio de protótipo e baseado em similaridade). Esta afirmação possivelmente é consequência da Afirmção 3. Pode ser justificada pela inexistência de ocorrências destes tipos de raciocínio na primeira aula do Grupo I (aula tradicional), sendo possível observá-las somente após o desenvolvimento de aulas ministradas com RA. Tanto na segunda aula do Grupo (mediada pela RA) quanto na segunda aula do Grupo II (tradicional) foi identificado um equilíbrio entre os índices de cada tipo de raciocínio, não havendo grandes variações, como na primeira aula do Grupo I. No entanto, mesmo havendo influência da tecnologia de realidade aumentada na ocorrência dos tipos de raciocínios condizentes ao modo de abstração parcial, os resultados permitiram identificar o predomínio do raciocínio baseado em regras.

Afirmção 5. Há influência da capacidade de visualização molecular mental no acerto de resoluções de problemas de geometria molecular. Essa afirmação é justificada uma vez que é perceptível que, com o aumento da capacidade de visualização molecular mental (“+”) também ocorre o aumento de acertos de respostas (“+”). O contrário é identificado quando se observa a incapacidade de visualização molecular mental (“-”), que está relacionada ao maior número de resoluções caracterizadas como incorretas (“-”). Também é possível observar certa influência da realidade aumentada na capacidade de visualização molecular mental, na medida em que, nas aulas em que a RA foi utilizada, a ocorrência de episódios de alunos com maior capacidade de visualização molecular mental foi substancialmente maior.

Afirmção 6. Observou-se tendência de que a abstração, o tipo de raciocínio e a capacidade de visualização influenciaram na média de notas do semestre. Essa afirmação é fundamentada considerando três aspectos. O primeiro está relacionado à propensão de alunos que tiveram médias menores que 7,0 a desenvolverem problemas com nível de abstração aproximado/igual

com ambas representações, possuindo grau baixo (“- -”). Para esses alunos também prevaleceu a utilização do modo de abstração parcial e do processo de raciocínio tanto baseado em similaridade quanto o baseado em banco de memória. No que tange à visualização, observou-se tendência para resolução de problemas com capacidade parcial de visualização molecular mental (“^”). O segundo aspecto está relacionado aos estudantes que obtiveram médias entre a 7,0 e 9,0. Neste cenário, considerando uma abordagem geral, os alunos possuem tendências de empregar o nível de abstração diferente (“+ -”), com disposição a desenvolver resoluções utilizando o modo de abstração estrita. Igualmente, há propensão de usar o processo de raciocínio baseado em regras e de possuírem capacidade de visualização molecular mental (“+”). O terceiro aspecto diz respeito aos estudantes que obtiveram médias acima de 9,0. Estes possuem tendências de empregar o nível de abstração diferente (“+ -”), enquanto se observa um equilíbrio entre o modo de abstração parcial sobressalente e o modo de abstração estrita sobressalente. Já em relação ao processo de raciocínio, há tendência de utilizarem o processo de raciocínio baseado regras, ao mesmo tempo em que há grande inclinação à capacidade de visualização molecular mental (“+”).

Ao finalizar esta tese, é necessário tecer algumas considerações em relação às limitações de suas descobertas e à capacidade de tornar seus resultados suficientemente genéricos para serem utilizados em cenários mais abrangentes.

5.1 Limitações

As principais limitações da pesquisa são elencadas a seguir:

- a) O tamanho das amostras, que embora tenha possibilitado desenvolver esta pesquisa, contemplando achados significativos, não permite realizar inferências estatísticas para extrapolar os resultados, tornando-os indicativos mais concretos, ao contrário de evidências;
- b) O número de aulas tanto tradicionais quanto ministradas com o uso da tecnologia de realidade aumentada é um fator limitante para generalizar os resultados;
- c) O conjunto de moléculas trabalhadas em aula contemplou estruturas constituídas por um número reduzido de elementos químicos, o que pode restringir o tópico relacionado à geometria molecular;

- d) A amostra reservada a um único curso (curso técnico em eventos integrado ao ensino médio), que mesmo sendo significativa, pode de alguma forma restringir a determinado perfil de aluno.

Independentemente desta tese expor resultados parcialmente limitados, destaca-se por ter sido predominantemente conduzida no espaço natural do seu público-alvo, analisando e avaliando contextos reais do processo de ensino e aprendizagem de alunos na disciplina de Química, em uma escola pública brasileira. Ou seja, a pesquisa foi conduzida em um cenário autêntico visto que, conforme Makransky, Borre-Gude e Mayer (2019), priorizar a validade ambiental muitas vezes significa não ser possível obter o mesmo nível de controle de um estudo de laboratório.

5.2 Contribuições

As principais contribuições desta tese podem ser sintetizadas da seguinte forma:

- a) A realização de um estudo que apresentou desenvolvimento do processo de abstração, em termos de nível de abstração e modo de abstração, na resolução de problemas de geometria molecular tanto em aulas assistidas pela realidade aumentada quanto em aulas tradicionais;
- b) A identificação de processos de raciocínio usados pelos alunos na resolução de problemas em aulas no formato tradicional bem como em aulas ministradas com RA;
- c) A proposta de expandir a ideia do modelo original, direcionado à aplicação de apenas dois modos de abstração (parcial e estrito), considerando outros dois modos: modo de abstração parcial sobressalente e modo de abstração estrita sobressalente;
- d) O reconhecimento de padrões analisando influências e associações entre o nível de abstração, modo de abstração, processo de raciocínio, capacidade de visualização molecular mental, média de notas semestral e acerto da resolução de problemas;
- e) Planejamento e concepção de 25 estruturas moleculares tridimensionais, cada uma contemplando três modelos de representação distintos (*Stick*, *Balls* e *Ball and Stick*), que foram manipulados pelos alunos utilizando a tecnologia de RA;
- f) Desenvolvimento de aulas no Sistema Web MMAR, contemplando o planejamento de materiais didáticos.

5.3 Trabalhos Futuros

Considerando os resultados desta tese e suas limitações, a seguir são apresentadas algumas importantes perspectivas em relação a trabalhos futuros:

- a) Acompanhar o desenvolvimento do nível de abstração e do modo de abstração durante determinado período, analisando modificações que influenciarão no tipo de raciocínio;
- b) Pesquisar o quanto e como a representação do conhecimento armazenado e a representação de nova instância, sendo alta ou baixa, influenciam na aprendizagem e/ou no desempenho do aluno;
- c) Analisar o quanto e como o modo de abstração (parcial ou estrita) e o tipo de processo de raciocínio influenciam na aprendizagem e/ou no desempenho do estudante;
- d) Aplicar testes de habilidade de visualização espacial e relacioná-los com a abstração e processos de raciocínios;
- e) Propor um método de identificação da representação do conhecimento armazenado e da representação de nova instância possuindo características quantitativas, como a definição de categorias constituídas por valores (pesos);
- f) Criar modelos moleculares 3D constituídos por um número maior de elementos químicos, para serem utilizados com a RA, visando ampliar a abordagem do tópico de geometria molecular;
- g) Conduzir o experimento contemplando alunos de diferentes cursos e instituições, permitindo considerar amostras com perfis distintos;
- h) Utilizar diferentes instrumentos para a coleta de dados, buscando a replicação dos resultados e a ilustração de que não estão condicionados ao escopo de abrangência daqueles empregados.

REFERÊNCIAS

AAMODT, Agnar; PLAZA, Enric. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. **AI communications**, v. 7, n. 1, p. 39-59, 1994.

ABD MAJID, Nazatul Aini; ABD MAJID, Nurfaizah. Augmented reality to promote guided discovery learning for STEM learning. **Int. J. on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 8, n. 4-2, p. 1494-1500, 2018.

ABDINEJAD, Maryam *et al.* Developing a Simple and Cost-Effective Markerless Augmented Reality Tool for Chemistry Education. **J. Chem. Educ.** 2021, 98, 5, 1783–1788.

ABDUSSELAM, Mustafa Serkan; KARAL, Hasan. The effect of using augmented reality and sensing technology to teach magnetism in high school physics. **Technology, Pedagogy and Education**, v. 29, n. 4, p. 407-424, 2020. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1766550>

ACOSTA, J. L. B., Navarro, S. M. B., Gesa, R. F., Kinshuk, K. Framework for designing motivational augmented reality applications in vocational education and training. **Australasian Journal of Educational Technology**, v. 35, n. 3, 2019. <https://doi.org/10.14742/ajet.4182>

ADANALI, Rukiye. The Effect of Digital Documentary Production through Field Work on Geography Students' Problem-Solving Skills. **Journal of Education and Training Studies**, v. 6, n. 1, p. 113-123, 2018.

ADEDOKUN-SHITTU, Nafisat A. *et al.* Augmented reality instructional tool in enhancing geography learners academic performance and retention in Osun state Nigeria. **Education and Information Technologies**, p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10099-2>

AHMAD, Wan-Yaacob; OMAR, Siraj. Drawing Lewis structures: A step-by-step approach. **Journal of Chemical Education**, v. 69, n. 10, p. 791, 1992. <https://doi.org/10.1021/ed069p791>

AKÇAYIR, Murat; AKÇAYIR, Gökçe. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. **Educational Research Review**, v. 20, p. 1-11, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>

AL-MOUSAWI, Saleh M. Molecular shape prediction and the lone-pair electrons on the central atom. **Journal of Chemical Education**, v. 67, n. 10, p. 861, 1990. <https://doi.org/10.1021/ed067p861>

ALSEADOON, Ibrahim *et al.* Migration of existing software systems to mobile computing platforms: a systematic mapping study. **Frontiers of Computer Science**, v. 15, n. 2, p. 1-25, 2021.

ANDERSEN, Jakob L. *et al.* An intermediate level of abstraction for computational systems chemistry. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 375, n. 2109, p. 20160354, 2017.

ASTUTI, Andari Puji *et al.* The use of augmented reality-based learning media to develop the technology literacy of chemistry teachers in the 21st century. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing LLC, 2020. p. 020002. <https://doi.org/10.1063/5.0000745>

AW, Jonah Kailer *et al.* Interacting with three-dimensional molecular structures using an augmented reality mobile app. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 10, p. 3877-3881, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00387>

AZUMA, Ronald T. A survey of augmented reality. **Presence: teleoperators & virtual environments**, v. 6, n. 4, p. 355-385, 1997. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

BADILLA-QUINTANA, María Graciela; SEPULVEDA-VALENZUELA, Eileen; SALAZAR ARIAS, Margarita. Augmented Reality as a Sustainable Technology to Improve Academic Achievement in Students with and without Special Educational Needs. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 8116, 2020.

BARSALOU, Lawrence W. Abstraction as dynamic interpretation in perceptual symbol systems. In: **Building object categories in developmental time**. Psychology Press, 2005. p. 407-450.

BENNEDSSEN, Jens; CASPERSEN, Michael E. Abstraction ability as an indicator of success for learning computing science? In: **Proceedings of the fourth international workshop on computing education research**. 2008. p. 15-26.

BETH, Evert Willem; PIAGET, Jean. **Mathematical epistemology and psychology**. 1a. Ed. New York: Gordon and Breach, 1966. 326 p.

BIRK, James P.; KURTZ, Martha J. Effect of experience on retention and elimination of misconceptions about molecular structure and bonding. **Journal of Chemical education**, v. 76, n. 1, p. 124, 1999.

BHATTACHARYYA, Gautam. Who am I? What am I doing here? Professional identity and the epistemic development of organic chemists. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 9, n. 2, p. 84-92, 2008.

BODNER, George M. **Problem solving: the difference between what we do and what we tell students to do**. University Chemistry Education, v. 7, n. 7, p. 37-45, 2003.

BODNER, George M.; HERRON, J. Dudley. Problem-solving in chemistry. In: **Chemical education: Towards research-based practice**. Springer, Dordrecht, 2002. p. 235-266.

BOERO, Paulo *et al.* Abstraction: Theories about the emergence of knowledge structures. In: **Proceedings of the 26th annual conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education**. 2002. p. 113-138.

BOSCH, Jan. From software product lines to software ecosystems. In: **13th International Software Product Line Conference (SPLC)**. 2009. p. 111-119.

BRAGA, Maria de Nazaré da Silva *et al.* A Importância das Aulas Práticas de Química no Processo de Ensino-Aprendizagem no PIBID. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 2, p. 2530-2542, 2021.

BROWN, Theodore; LEMAY, H. Eugene; BURSTEN, Bruce E. **Química: a Ciência Central**. 13 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

BROWNE, Lois M.; BLACKBURN, Edward V. Teaching introductory organic chemistry: a problem-solving and collaborative-learning approach. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 8, p. 1104, 1999.

BUSQUETS, Tamara; SILVA, Marta; LARROSA, Paulina. Reflexiones sobre el aprendizaje de las ciencias naturales: Nuevas aproximaciones y desafíos. **Estudios pedagógicos (Valdivia)**, v. 42, n. ESPECIAL, p. 117-135, 2016.

CAI, Su; WANG, Xu; CHIANG, Feng-Kuang. A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. **Computers in human behavior**, v. 37, p. 31-40, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018>

CAI, Su *et al.* Effects of learning physics using Augmented Reality on students' self-efficacy and conceptions of learning. **British Journal of Educational Technology**, v. 52, n. 1, p. 235-251, 2021. <https://doi.org/10.1111/bjet.13020>

CELIK, Cuneyd; GUVEN, Gokhan; CAKIR, Nevin Kozcu. Integration of mobile augmented reality (MAR) applications into biology laboratory: Anatomic structure of the heart. **Research in Learning Technology**, v. 28, 2020. <https://doi.org/10.25304/rlt.v28.2355>

CEN, Ling *et al.* Augmented immersive reality (AIR) for improved learning performance: a quantitative evaluation. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 13, n. 2, p. 283-296, 2019. <https://doi.org/10.1109/TLT.2019.2937525>

CHANG, Rong-Chi; CHUNG, Ling-Yi. Integrating augmented reality technology into subject teaching: The implementation of an elementary science curriculum. In: **International Conference on Frontier Computing**. Springer, Singapore, 2016. p. 187-195. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3187-8_20

CHARTERS, Werrett, Wallace. **Teaching the common branches: A textbook for teachers of rural and graded schools**. Boston: Houghton Mifflin, 1924, 411 p.

CHEN, Shih-Yeh; LIU, Shiang-Yao. Using augmented reality to experiment with elements in a chemistry course. **Computers in Human Behavior**, v. 111, p. 106418, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106418>

CHI, Michelene, T. H. Problem Solving Abilities. Pittsburgh Univ Pa Learning Research and Development Center, 1983, 47 p.

CHIU, Jennifer L.; DEJAEGHER, Crystal J.; CHAO, Jie. The effects of augmented virtual science laboratories on middle school students' understanding of gas properties. **Computers & Education**, v. 85, p. 59-73, 2015.

CHRISTIAN, Karen; TALANQUER, Vicente. Modes of reasoning in self-initiated study groups in chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 13, n. 3, p. 286-295, 2012.

CIPRIANO, Gregory; GLEICHER, Michael. Molecular surface abstraction. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 13, n. 6, p. 1608-1615, 2007. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.70578>

DANTE, L. R. **Didática da resolução de problemas de matemática**. São Paulo: Ática, 1989. 176p.

DANTE, L. R. **Formulação e resolução de problemas de matemática: teoria e prática**. 1a ed. São Paulo: Ática, 2009. 192 p.

DEWI, Izwita; SIREGAR, Nurhasanah; ANDRIANI, Ade. Students' Thinking Process in Solving Abstraction Problems in Mathematics: A Case Study on Limited Test of Development Research Instrument. **Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)**, v. 12, n. 6, p. 2594-2601, 2021.

DIAS, Vagner Neves. Ensino da Química e TICs em Itambé–BA. **Revista Científica FESA**, v. 1, n. 3, p. 175-191, 2021.

DOMIN, Daniel; BODNER, George. Using students' representations constructed during problem solving to infer conceptual understanding. **Journal of Chemical Education**, v. 89, n. 7, p. 837-843, 2012.

DORI, Yehudit J.; HAMEIRI, Mira. Multidimensional analysis system for quantitative chemistry problems: Symbol, macro, micro, and process aspects. **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**, v. 40, n. 3, p. 278-302, 2003.

DREYFUS, T. Advanced mathematical thinking processes. In D. O. Tall (Ed.), **Advanced mathematical thinking** (pp. 25-41). 1. Ed. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer. 1991. 289 p.

DUNBAR, K. Problem solving. In: Bechtel, W.; Graham, G. **A companion to Cognitive Science**. London, England: Blackwell, 1998, p. 289-298.

ECHEVERRÍA, M. D. P. P.; POZO J. I. Aprender a Resolver Problemas e Resolver Problemas para aprender. IN: POZO, J. I. (Org). **A Solução de Problemas: Aprender a resolver, resolver para aprender**. Porto Alegre, 1998.

EWAIS, Ahmed; TROYER, Olga De. A usability and acceptance evaluation of the use of augmented reality for learning atoms and molecules reaction by primary school female students in Palestine. **Journal of Educational Computing Research**, v. 57, n. 7, p. 1643-1670, 2019.

FATEMAH, Amal; RASOOL, Shahzad; HABIB, Uzma. Interactive 3D visualization of chemical structure diagrams embedded in text to aid spatial learning process of students. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 4, p. 992-1000, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00690>

FERNANDES, Argeu Cavalcante *et al.* Ensino de química: uma análise comparativa entre as redes públicas de ensino estadual e federal no município de Pau dos Ferros-RN. **XVI ENEQ/X EDUQUI-ISSN: 2179-5355**, 2012.

FIGLAND, Whitney; ROBERTS, Richie; BLACKBURN, J. Joey. Reconceptualizing Problem-Solving: Applications for the Delivery of Agricultural Education's Comprehensive, Three-Circle Model in the 21st Century. **Journal of Southern Agricultural Education Research**, v. 70, n. 1, p. 1-20, 2020.

FRAZER, M. J. Solving chemical problems: Nyholm Lecture. **Chemical Society Reviews**, v. 11, n. 2, 1982. <https://doi.org/10.1039/CS9821100171>

FREVERT, Mareike; DI FUCCIA, David-S. Virtual Reality as a Means of Teaching Contemporary Chemistry. In: **Proceedings of the 2019 The 3rd International Conference on Digital Technology in Education**. 2019. p. 34-38.

GABEL, Dorothy L. **Handbook of Research on Science Teaching and Learning Project**. New York, NY: Macmillan Publishing Company, Division of Macmillan, Inc., 1993. 598 p.

GARRATT, John; HORN, Andrew; TOMLINSON, Jane. Misconceptions about error. *University Chemistry Education*, v. 4, n. 2, p. 54-57, 2000.

GETZELS, Jacob W.; CSIKSZENTMIHALYI, Mihaly. From problem solving to problem finding. In: **Perspectives in creativity**. Routledge, 2017. p. 90-116.

GILBERT, John K.; TREAGUST, David F. Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. In: **Multiple representations in chemical education**. Springer, Dordrecht, 2009. p. 1-8.

GILLESPIE, Ronald J.; HARGITTAI, István. **The VSEPR Model of Molecular Geometry**. Estados Unidos: Dover Publications, 2013. 272 p.

GILLESPIE, Ronald J.; ROBINSON, Edward A. Models of molecular geometry. **Chemical Society Reviews**, v. 34, n. 5, p. 396-407, 2005. <https://doi.org/10.1039/B405359C>

GRAY, Eddie; TALL, David. Abstraction as a natural process of mental compression. **Mathematics Education Research Journal**, v. 19, n. 2, p. 23-40, 2007.

GRAULICH, Nicole; TIEMANN, Rüdiger; SCHREINER, Peter R. Heuristic chemistry—a qualitative study on teaching domain-specific strategies for the six-electron case. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 13, n. 3, p. 337-347, 2012.

GREEN, Rebecca; HUANG, Xiaoli. Classification of digital content, media, and device types. **Retrieved May**, v. 14, p. 2018, 2017.

GROVE, Nathaniel P.; COOPER, Melanie M.; RUSH, Kelli M. Decorating with arrows: Toward the development of representational competence in organic chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 89, n. 7, p. 844-849, 2012.

HABERMAN, Bruria; MULLER, Orna. Teaching abstraction to novices: Pattern-based and ADT-based problem-solving processes. In: **2008 38th Annual Frontiers in Education Conference**. IEEE, 2008. p. F1C-7-F1C-12.

HAHN, Ulrike; CHATER, Nick. Similarity and rules: distinct? exhaustive? empirically distinguishable? **Cognition**, v. 65, n. 2-3, p. 197-230, 1998.

HÄNNINEN, Nelli. Augmented reality in an amusement park environment: AR concept for Linnanmäki. 2020. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202005057255>

HAZZAN, Orit; ZAZKIS, Rina. Reducing abstraction: The case of school mathematics. **Educational Studies in mathematics**, v. 58, n. 1, p. 101-119, 2005.

HELIX, Max Ryan. **Problem solving in organic chemistry and undergraduate research: Characterizing and catalyzing the transition from novice to expert**. 2021. Tese de Doutorado. UC Berkeley.

HERRON, J. Dudley. **The Chemistry Classroom: Formulas for Successful Teaching**. 1. ed. Washington, DC: American Chemical Society, 1996, 320 p.

HERSHKOWITZ, Rina; SCHWARZ, Baruch B.; DREYFUS, Tommy. Abstraction in context: Epistemic actions. **Journal for Research in Mathematics Education**, v. 32, n. 2, p. 195-222, 2001.

HIEBERT, J.; LEFEVRE, P. Conceptual and procedural knowledge in mathematics: An introductory analysis. In J. Hiebert (ed.), **Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics**. 1. ed. New York: Routledge, 1986. <https://doi.org/10.4324/9780203063538>

HINZE, Scott R. *et al.* Beyond ball-and-stick: Students' processing of novel STEM visualizations. **Learning and instruction**, v. 26, p. 12-21, 2013.

HONG, Jee Yun; KIM, Min Kyeong. Mathematical abstraction in the solving of ill-structured problems by elementary school students in Korea. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, v. 12, n. 2, p. 267-281, 2016.

IBÁÑEZ, María-Blanca *et al.* Impact of visuospatial abilities on perceived enjoyment of students toward an ar-simulation system in a physics course. In: **2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**. IEEE, 2019. p. 995-998. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2019.8725185>

IRWANSYAH, Ferli Septi *et al.* The Development of Augmented Reality Applications for Chemistry Learning. In: **Augmented Reality in Education**. Springer, Cham, 2020. p. 159-183. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4_9

JOHNSON, Philip. The development of children's concept of a substance: A longitudinal study of interaction between curriculum and learning. **Research in Science Education**, v. 35, n. 1, p. 41-61, 2005.

JOHNSON, Scott, D. A description of expert and novice performance differences on technical troubleshooting tasks. **Journal of Industrial Teacher Education**, v. 26, n. 3, p. 19-37, 1989. <https://doi.org/10.1111/j.1937-8327.1988.tb00021.x>

JOHNSTONE, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of computer assisted learning**, 7(2), 75-83.

JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry-logical or psychological?. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 1, n. 1, p. 9-15, 2000.

LAINE, Teemu H. *et al.* Science Spots AR: a platform for science learning games with augmented reality. **Educational Technology Research and Development**, v. 64, n. 3, p. 507-531, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9419-0>

LEVY, Arnon; BECHTEL, William. Abstraction and the organization of mechanisms. **Philosophy of science**, v. 80, n. 2, p. 241-261, 2013.

LOPES, J. B. **Resolução de problemas em física e química**: modelo para estratégias de ensino-aprendizagem. 1a. Ed. Lisboa: Texto Editora, 1994. 151 p.

LOVETT, M. C. Problem solving. *In*: PASHLER, H.; MEDIN, D. Steven's handbook of experimental psychology: Memory and cognitive processes. 3. ed. Hoboken, NJ, US: John Wiley & Sons Inc, 2002, p. 317-362. <https://doi.org/10.1002/0471214426.pas0208>

LUTFI, A.; HIDAYAH, R. Gamification for Learning Media: Learning Chemistry with Games Based on Smartphone. *In*: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2021. p. 012167.

KANG, Seokbin *et al.* ARMath: augmenting everyday life with math learning. *In*: **Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. 2020. p. 1-15. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376252>

KARCH, Jessica; SEVIAN, Hannah. Abstraction in Disciplinary Problem Solving. *In*: **International Society of the Learning Sciences (ISLS)**, p. 831-832, 2020.

KHASANAH, Nor; KUSMAYADI, Tri Atmojo; NURHASANAH, Farida. Mathematical Abstraction of Junior High School Students on Function Based on Gender Perspectives. **International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding**, v. 8, n. 5, p. 501-508, 2021.

KIRIKKAYA, Esmâ Buluş; BAŞGÜL, M. Ş. The effect of the use of augmented reality applications on the academic success and motivation of 7th grade students. **Journal of Baltic Science Education**, v. 18, n. 3, p. 362, 2019.

KODIYAH, J.; IRWANSYAH, F. S.; WINDAYANI, N. Application of augmented reality (AR) media on conformation of alkanes and cycloalkanes concepts to improve student's spatial ability. *In*: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2020. p. 042093.

KOPPELMAN, Herman; VAN DIJK, Betsy. Teaching abstraction in introductory courses. *In*: **Proceedings of the fifteenth annual conference on Innovation and technology in computer science education**. 2010. p. 174-178.

KRAFT, Adam; STRICKLAND, Amanda M.; BHATTACHARYYA, Gautam. Reasonable reasoning: multi-variate problem-solving in organic chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 11, n. 4, p. 281-292, 2010.

LANCELOT, W. H. **Permanent learning: a study in educational techniques**. Oxford, England: Wiley; Chapman & Hall, Ltd, 1944, 221 p.

LAWSON, Michael J. Problem solving. In: KEEVES J.P. *et al.* **International handbook of educational research in the Asia-Pacific region**, p. 511-524, 2003. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3368-7_35

MAIER, Patrick; KLINKER, Gudrun. Evaluation of an augmented-reality-based 3D user interface to enhance the 3D-understanding of molecular chemistry. **5th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU)**, p. 294-302, 2012.

MAIER, Patrick; KLINKER, Gudrun. Augmented chemical reactions: An augmented reality tool to support chemistry teaching. In: **2013 2nd Experiment@ International Conference (exp. at'13)**. IEEE, 2013. p. 164-165.

MAKRANSKY, Guido; BORRE-GUDE, Stefan; MAYER, Richard E. Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 35, n. 6, p. 691-707, 2019. <https://doi.org/10.1111/jcal.12375>

MAKSIMENKO, Nadezhda *et al.* Introducing Atomic Structure to First-Year Undergraduate Chemistry Students with an Immersive Virtual Reality Experience. **J. Chem. Educ.** 2021, 98, 6, 2104–2108.

MARTINEZ, Michael E. What is problem solving? **The Phi Delta Kappan**, v. 79, n. 8, p. 605-609, 1998.

MATOS, J. M.; SERRAZINA, M. de L. **Didáctica da Matemática**. Lisboa: Universidade Aberta, 1996. 294 p.

MAZZUCO, Alex Eder da Rocha. **MMAR: sistema web para modelagem molecular tridimensional utilizando realidade aumentada**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Educacionais em Rede) - Tecnologias Educacionais em Rede, Universidade Federal de Santa Maria, p. 198. 2017.

MAZZUCO, Alex Eder da Rocha *et al.* Molecular Modeling with Augmented Reality (MMAR). **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 6, p. 187-205, 2018a.

MAZZUCO, Alex Eder da Rocha *et al.* Uso da Realidade Aumentada como Instrumento no Processo de Ensino e Aprendizagem de Modelos Moleculares Tridimensionais. In: **Encontro de Debates sobre o Ensino de Química**, Canoas. Anais do 38 EDEQ, 2018b.

MAZZUCO, Alex Eder da Rocha *et al.* Revisão de Literatura Sobre o Uso da Realidade Aumentada no Ensino de Química. **RENOTE**, v. 19, n. 1, p. 402-412, 2021.

MAZZUCO, Alex Eder da Rocha; BERNARDI, Giliane. MMAR: Sistema Web para Modelagem Molecular Tridimensional Utilizando Realidade Aumentada. Ana Cláudia Oliveira Pavão, Karla Marques da Rocha. (Org.). In: **Tecnologias Educacionais em Rede: produtos e práticas inovadoras**. 2ed.Santa Maria: FACOS - UFSM, 2019, v. II, p. 261-279.

MAZZUCO, Alex *et al.* A systematic review of augmented reality in chemistry education. **Review of Education**, v. 10, n. 1, p. e3325, 2022.

MBAJIORGU, Ngozi; REID, Norman. Factors influencing curriculum development in chemistry. **Hull: Royal Society of Chemistry**, 2006.

MERRIAM. S. B. **Research and Case Study Applications in Education**. Revised and Expanded from Case Study Research in Education. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1997.

MILGRAM, Paul; KISHINO, Fumio. **A taxonomy of mixed reality visual displays**. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, v. 77, n. 12, p. 1321-1329, 1994.

MITCHELMORE, Michael; WHITE, Paul. Abstraction in mathematics learning. **Mathematics Education Research Journal**, v. 19, n. 2, p. 1–9. 2007.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF03217452>

MORO, Christian *et al.* HoloLens and mobile augmented reality in medical and health science education: A randomised controlled trial. **British Journal of Educational Technology**, v. 52, n. 2, p. 680-694, 2021.

MULLER, Orna; HABERMAN, Bruria. Supporting abstraction processes in problem solving through pattern-oriented instruction. **Computer Science Education**, v. 18, n. 3, p. 187-212, 2008.

NAKHLEH, Mary B.; MITCHELL, Richard C. Concept learning versus problem solving: There is a difference. **J. Chem. Educ.**, v. 70, n. 3, p. 190-192, 1993.
<https://doi.org/10.1021/ed070p190>

NASONGKHLA, Jaitip; SUPADAEC, Chanjaradwichai; CHIASIRIPHAN, Thanyaporn. Implementing Multiple AR Markers in Learning Science Content with Junior High School Students in Thailand. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, v. 14, n. 7, 2019.

NAZAR, M. *et al.* Development of augmented reality application for learning the concept of molecular geometry. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2020. p. 012083.

NICHELE, A. G., DO CANTO, L. Z., DA SILVA F. N. (2020). Augmented Reality: Apps for Teaching and Learning Chemistry. In **14th International Technology, Education and Development Conference** (pp. 7650-7655). <http://dx.doi.org/10.21125/inted.2020.2074>

NECHYPURENKO, P. *et al.* Use of augmented reality in chemistry education. In: **Memoires of 1st International Workshop on Augmented Reality in Education**. Kryvyi Rih, Ucraina. Kryvyi Rih State Pedagogical University. 2018, p. 15-23.

NETO, A. J. **Resolução de problemas em física: conceitos, processos e novas abordagens**. Lisboa: Instituto de Inovação Educacional. 1998.

NEWELL, Allen; HERBERT, A. Simon. **Human problem solving**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-hall, 1972.

NEWEL, Allen; SIMON, Herbert A. Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. **Communications of the ACM**, v. 19, n. 3, p. 113-126, 1976. <https://doi.org/10.1145/360018.360022>

NOELIN, Ezeike, Uchechukwu; EBELE, Okigbo Chinelo. Effect Of Problem Solving Strategy On Secondary School Students' Achievement In Chemistry In Onitsha Education Zone. **International Journal of Innovative Research and Advanced Studies (IJIRAS)**, 8, n. 6, 2021.

NURROHMAH, S. *et al.* The application of scaffolding augmented reality (AR) media in the sharing task learning of electrolyte and non-electrolyte solutions. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2020. p. 042064.

OECD. **PISA 2018 Results: Country Note – Brazil**. PISA, OECD Publishing, Paris, 2019. <https://doi.org/10.1787/19963777>

OECD. **PISA 2018 Results (Volume V): Effective Policies, Successful Schools**. PISA, OECD Publishing, Paris, 2020. <https://doi.org/10.1787/ca768d40-en>

OLIM, Sandra Câmara; NISI, Valentina. Augmented Reality Towards Facilitating Abstract Concepts Learning. In: **International Conference on Entertainment Computing**. Springer, Cham, 2020. p. 188-204. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65736-9_17

OSADCHYI, V. V.; VALKO, N. V.; KUZMICH, L. V. Using augmented reality technologies for STEM education organization. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2021. p. 012027.

OSMAN, Safiani *et al.* The effect of augmented reality application toward student's learning performance in pc assembly. **International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering**, v. 9, n. 1.4 (Special Issue), p. 401-407, 2020. <http://dx.doi.org/10.30534/ijatcse/2020/5791.42020>

OVERTON, Tina; POTTER, Nicholas; LENG, Christopher. A study of approaches to solving open-ended problems in chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 4, p. 468-475, 2013.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a resolução de problemas no ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 14, n. 3, p. 229-253, 1997.

PEREZ-MUNOZ, A. *et al.* An interactive application based on augmented reality and rules-based reasoning to support educational activities of high school students. In: **EDUNINE 2020-4th IEEE World Engineering Education Conference: The Challenges of Education in Engineering, Computing and Technology without Exclusions: Innovation in the Era of the Industrial Revolution 4.0, Proceedings**. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. p. 9149526. <https://doi.org/10.1109/EDUNINE48860.2020.9149526>

PERMATA, L. D.; KUSMAYADI, T. A.; FITRIANA, L. Mathematical problem solving skills analysis about word problems of linear program using IDEAL problem solver. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2018. p. 012025.

PETERSON, Raymond F.; TREAGUST, David F.; GARNETT, Patrick. Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and-12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. **Journal of Research in science Teaching**, v. 26, n. 4, p. 301-314, 1989.

PIAGET, J. **Studies in Reflecting Abstraction**. 1a. ed. Philadelphia, PA: Psychology Press. 2001. 350 p.

PHON, Danakorn Nincarean Eh; ALI, Mohamad Bilal; HALIM, Noor Dayana Abd. Learning with augmented reality: Effects toward student with different spatial abilities. **Advanced Science Letters**, v. 21, n. 7, p. 2200-2204, 2015.

POZHARLIEV, Rumen; DE ANGELIS, Matteo; ROSSI, Dario. The effect of augmented reality versus traditional advertising: a comparison between neurophysiological and self-reported measures. **Marketing Letters**, p. 1-16, 2021.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5a. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 296 p.

RAKER, Jeffrey R.; TOWNS, Marcy H. Benchmarking problems used in second year level organic chemistry instruction. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 11, n. 1, p. 25-32, 2010. <https://doi.org/10.1039/C001043J>

RAMIREZ, J. *et al.* **La resolución de problemas de física e química como investigación**. Madrid: Centro de Investigación y Documentación Educativa. 1994. 199 p.

RAMOS, Thanise Beque. **A resolução de problemas e a experimentação: metodologias para o ensino de química na educação profissional e tecnológica**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação Profissional e Tecnológica), Universidade Federal de Santa Maria, p. 145. 2019.

RICH, Kathryn M.; YADAV, Aman. Applying levels of abstraction to mathematics word problems. **TechTrends**, p. 1-9, 2020.

RODGER, Alison; RODGER, Mark. **Molecular geometry**. Great Britain: Butterworth-Heinemann, 2014.

RUBILAR, M. *et al.* Designing of augmented reality teaching-learning sequences to promote the accessibility and visualization of complex contents in Chemistry. In: **11th International Conference on Education and New Learning Technologies; IATED**. 2019. p. 8299-8303.

SALDANA, Johnny. **The Coding Manual for Qualitative Researchers**. Newbury Park: SAGE Publications, 2009. ISBN 9781446200124.

SALVE, Shrikant. Identification of Crop Disease using Augmented Reality-based Mobile App for Indian Farmers: A Prototype. **Human Computer Interaction and Emerging Technologies: Adjunct Proceedings from**, p. 169, 2020.

SANII, Babak. Creating augmented reality USDZ files to visualize 3D objects on student phones in the classroom. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 1, p. 253-257, 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00577>

SARITAS, M. T. Chemistry Teacher Candidates' Acceptance and Opinions about Virtual Reality Technology for Molecular Geometry. **Educational Research and Reviews**, v. 10, n. 20, p. 2745-2757, 2015.

SATPUTE, Trupti; BANSODE, Prakash. Augmented Reality in Higher Education Supported with Web 2.0: A Case Study in Chemistry Course. In: **Techno-Societal 2016, International Conference on Advanced Technologies for Societal Applications**. Springer, Cham, 2016. p. 1033-1041. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53556-2_103

SON, Ji Y.; SMITH, Linda B.; GOLDSTONE, Robert L. Simplicity and generalization: Short-cutting abstraction in children's object categorizations. **Cognition**, v. 108, n. 3, p. 626-638, 2008.

SEVIAN, H. *et al.* Use of representation mapping to capture abstraction in problem solving in different courses in chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 16, n. 3, p. 429-446, 2015.

SLECKMAN, John. **A Qualitative Study of Visualization Skills Used to Understand Chemical Bonding Theories**. 2020. Tese de Doutorado. State University of New York at Stony Brook.

STATTER, David; ARMONI, Michal. Teaching abstraction in computer science to 7th grade students. **ACM Transactions on Computing Education (TOCE)**, v. 20, n. 1, p. 1-37, 2020.

SUTARNO, S. *et al.* The students' Physics Problem Solving Skills in basic physics course. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2021. p. 012078.

SUNG, Eunyong Christine. The effects of augmented reality mobile app advertising: Viral marketing via shared social experience. **Journal of Business Research**, v. 122, p. 75-87, 2021.

SWELLER, John. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. **Cognitive science**, v. 12, n. 2, p. 257-285, 1988.

TABER, K. S. Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 2, p. 156-168, 2013.

TALANQUER, Vicente. Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry "triplet". **International Journal of Science Education**, v. 33, n. 2, p. 179-195, 2011.

TAUB, Rivka; ARMONI, Michal; BEN-ARI, Mordechai. Abstraction as a bridging concept between computer science and physics. In: **Proceedings of the 9th Workshop in Primary and Secondary Computing Education**. 2014. p. 16-19.

TACONIS, Ruurd; FERGUSON-HESSLER, Monica GM; BROEKKAMP, Hein. Teaching science problem solving: An overview of experimental work. **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**, v. 38, n. 4, p. 442-468, 2001

TEE, Nicholas Yee Kwang *et al.* Developing and demonstrating an augmented reality colorimetric titration tool. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 3, p. 393-399, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00618>

TSAPARLIS, Georgios. **Problems and Problem Solving in Chemistry Education: Analysing Data, Looking for Patterns and Making Deductions**, United Kingdom: CPI Group (UK) Ltd, 2021. 468 p.

TSAPARLIS, Georgios. Introduction – The Many Types and Kinds of Chemistry Problems. p. 1-14, 2021. <https://doi.org/10.1039/9781839163586-00001>

TULI, Neha; MANTRI, Archana. experience fleming's rule in electromagnetism using augmented reality: analyzing impact on students learning. **Procedia Computer Science**, v. 172, p. 660-668, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.086>

VAN DER ZWAN, Matthew *et al.* Illustrative molecular visualization with continuous abstraction. In: **Computer Graphics Forum**. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2011. p. 683-690.

VIRATA, Rholeo O.; CASTRO, Johan Daryll L. Augmented reality in science classroom: Perceived effects in education, visualization and information processing. In: **Proceedings of the 10th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management and E-Learning**. 2019. p. 85-92. <https://doi.org/10.1145/3306500.3306556>

WATTS, M. **The science of problem solving: A practical guide for science teachers**. London: Heinemann Educational Books, 1991. 160 p.

WEINRICH, M. L.; SEVIAN, H. Capturing students' abstraction while solving organic reaction mechanism problems across a semester. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 18, n. 1, p. 169-190, 2017.

WHITE, Paul; MITCHELMORE, Michael C. Teaching for abstraction: A model. **Mathematical Thinking and Learning**, v. 12, n. 3, p. 205-226, 2010.

WIDARTI, Hayuni Retno; ROKHIM, Deni Ainur; MUCHSON, M. Developing Integrated Triplet Multi-Representation Virtual Laboratory in Analytic Chemical Materials. **International Journal of Interactive Mobile Technologies**, v. 15, n. 8, 2021.

WOJCIECHOWSKI, Rafał; CELLARY, Wojciech. Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. **Computers & education**, v. 68, p. 570-585, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.014>

WOŹNIAK, Mikolaj P. *et al.* ARchemist: Aiding Experimental Chemistry Education Using Augmented Reality Technology. In: **Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. 2020. p. 1-6.

WULANDARI, I. *et al.* Development of student's submicroscopic representation ability on molecular geometry material using Augmented Reality (AR) media. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2019. p. 032016.

YILMAZ, Rabia M. *et al.* An examination of interactions in a three-dimensional virtual world. **Computers & Education**, v. 88, p. 256-267, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.06.002>

ZHANG, Peng *et al.* A comparative study of the influence of interactive AR-based experiential teaching on cognitive ability in a chemical electrolytic cell course. In: **2020 International Symposium on Educational Technology (ISET)**. IEEE, 2020. p. 88-92. <https://doi.org/10.1109/ISET49818.2020.00028>

ZHANG, Zhenning *et al.* An augmented reality-based multimedia environment for experimental education. **Multimedia Tools and Applications**, v. 80, n. 1, p. 575-590, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09684-x>

ZHU, Bolin *et al.* Increasing enthusiasm and enhancing learning for biochemistry-laboratory safety with an augmented-reality program. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 10, p. 1747-1754, 2018.

ZENDLER, Andreas; GREINER, Hanna. The effect of two instructional methods on learning outcome in chemistry education: The experiment method and computer simulation. **Education for Chemical Engineers**, v. 30, p. 9-19, 2020.

APÊNDICE I - TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa “**Investigando o Desenvolvimento do Processo de Abstração na Resolução de Problemas de Geometria Molecular Mediada pela Realidade Aumentada**”. Este projeto faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação (PPGIE) do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação (CINTED) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A pesquisa tem como objetivo “investigar como os alunos pensam (raciocinam) no momento em que resolvem problemas de geometria molecular, utilizando um programa que possui tecnologia de Realidade Aumentada”.

Caso aceite o convite, você participará de dois ou três encontros adicionais às aulas normais, cada um com 1h30min de duração, que seguirão o atual formato de ensino remoto da Instituição, onde ocorrerá o estudo. Estes encontros acontecerão em um período máximo de duas semanas. Após os encontros (aulas), uma ou duas entrevistas, entre 10 a 15 minutos serão realizadas. As entrevistas serão gravadas (áudio e vídeo), contudo, no momento da gravação, somente serão capturadas imagens da escrita e/ou dos desenhos que você fará durante a entrevista, ou seja, a câmera ficará focada na folha em que você irá realizar as anotações.

Assim, solicito autorização para registro de sua imagem e som. Será assegurado a confidencialidade, a privacidade e a proteção da imagem. Todas as conversas, atividades e instrumentos a serem aplicados serão mantidos em total sigilo, servindo apenas para os fins desta pesquisa, não se revelando os nomes dos participantes.

Os riscos desta pesquisa serão mínimos. As possibilidades destas ocorrências poderão ser de ordem psíquica: incômodo em compartilhar alguma informação, desconforto, estresse ou cansaço ao responder às perguntas, ou em se expressar sobre algum tópico. Por isso, é importante esclarecer que você não precisa realizar qualquer atividade, caso se sinta desconfortável. Desta forma, caso ocorra algum problema decorrente de sua participação na pesquisa, você terá acompanhamento médico e/ou assistência psicológica no serviço público municipal de saúde e/ou em caso de inexistência de vagas ou profissionais, o tratamento será custeado pelo pesquisador.

Caso seja verificado algum constrangimento durante os encontros, o pesquisador irá intervir, direcionando o assunto tratado. É garantido ao aluno, também:

- Receber resposta a qualquer pergunta, ou esclarecimento a qualquer dúvida acerca dos procedimentos, riscos, benefícios e outros assuntos relacionados com a pesquisa;
- Poder retirar seu consentimento a qualquer momento, deixando de participar do estudo, sem que isso traga qualquer tipo de prejuízo ou constrangimento;
- Que você não será identificado quando da divulgação dos resultados e que todas as informações obtidas serão utilizadas apenas para fins científicos vinculados à pesquisa;
- Que, em caso de dano, durante a pesquisa, será garantida a indenização;
- Que, se existirem gastos adicionais, estes serão absorvidos pelo orçamento da pesquisa.

Os benefícios e vantagens em participar deste estudo são: a) conhecer e testar uma nova ferramenta de aprendizagem; b) ter acesso a conteúdos de forma interativa e inovadora; c) visualizar e manipular moléculas 3D de forma diferenciada; d) ter a oportunidade de adquirir

novos conhecimentos em relação a geometria molecular; e) contribuir para que o uso dessa ferramenta venha a ser ampliado e mais efetivamente explorado no ensino de Química.

As pessoas que acompanharão os procedimentos são os pesquisadores Alex Eder da Rocha Mazzuco, estudante de doutorado, professor Dr. Eliseo Reategui, orientador de doutorado e professora Dra. Raquel Salcedo, coorientadora de doutorado.

Pedimos a sua autorização para o uso de seus dados para a produção de artigos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida através da não identificação do seu nome.

Este documento será elaborado em duas VIAS, que serão rubricadas em todas as suas páginas, exceto a com as assinaturas, e assinadas ao seu término pelo participante da pesquisa, e pelo pesquisador responsável, ficando uma via com cada um.

O responsável pela pesquisa é o aluno de doutorado Alex Eder da Rocha Mazzuco, seu e-mail é a.....@gmail.com e seu telefone é (55) XXXXX-XXXX.

Alex Eder da Rocha Mazzuco
São Borja/RS

Comitê de Ética em Pesquisa – CEP IFFar.

O Comitê de Ética na Pesquisa (CEP) é um órgão colegiado de caráter consultivo, educativo e deliberativo, instituído com o objetivo de zelar pela ética, pela integridade e pela dignidade de seres humanos envolvidos em projetos de pesquisa.

Endereço: Rua Esmeralda, 430, Bairro Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul – Fone/Fax: (55) 32189850

E-mail: cep@iffarroupilha.edu.br

TERMO DE ASSENTIMENTO

Pelo presente Termo de Assentimento Livre e Esclarecido, declaro que autorizo a participação de meu responsabilizado nesta pesquisa, pois fui devidamente informado, de forma clara e detalhada, livre de qualquer constrangimento e coerção, dos objetivos, da justificativa, dos instrumentos de coletas de informação que serão utilizados, dos riscos e benefícios, conforme já citados neste termo.

Nome por extenso _____

Assinatura _____ Local: _____ Data: ____ / ____ / ____

APÊNDICE II - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DOS RESPONSÁVEIS

O(A) seu(sua) filho(a) está sendo convidado a participar do projeto de pesquisa intitulada “**Investigando o Desenvolvimento do Processo de Abstração na Resolução de Problemas de Geometria Molecular Mediada pela Realidade Aumentada**”. Este projeto faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação (PPGIE) do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação (CINTED) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A pesquisa tem como objetivo “investigar como se desenvolve o processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular assistida pela Realidade Aumentada”, ou seja, “investigar como os alunos pensam (raciocinam) no momento em que resolvem problemas de geometria molecular, utilizando um programa que possui tecnologia de Realidade Aumentada”.

O(A) Sr(a). tem de plena liberdade de recusar a participação do seu(sua) filho(a) ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer tipo de constrangimento.

Caso aceite o convite, seu(sua) filho(a) participará de dois ou três encontros adicionais às aulas normais, cada um com 1h30min de duração, que seguirão o atual formato de ensino remoto da Instituição, onde ocorrerá o estudo. Estes encontros acontecerão em um período máximo de duas semanas. Após os encontros (aulas), uma ou duas entrevistas, entre 10 a 15 minutos serão realizadas. As entrevistas serão gravadas (áudio e vídeo), contudo, no momento da gravação, somente serão capturadas imagens da escrita e/ou dos desenhos que seu(sua) filho(a) fará durante a entrevista, ou seja, a câmera ficará focada na folha em que seu(sua) filho(a) irá realizar as anotações.

Assim, solicito autorização para o registro de imagem e som de seu(sua) filho(a). Será garantida a não utilização das informações em prejuízo de seu(sua) filho(a), inclusive em termos de autoestima, de prestígio e/ou de aspectos econômico-financeiros. Da mesma forma, será assegurada a confidencialidade e a privacidade, a proteção da imagem e a não estigmatização. Todas as conversas, atividades e instrumentos a serem aplicados serão mantidos em total sigilo, servindo apenas para os fins desta pesquisa, não se revelando os nomes dos participantes.

Os riscos desta pesquisa serão mínimos. As possibilidades destas ocorrências poderão ser de ordem psíquica: incômodo em compartilhar alguma informação, desconforto, estresse ou cansaço ao realizar as atividades, ou em se expressar sobre algum tópico. Por isso, é importante esclarecer que seu(sua) filho(a) não precisa realizar qualquer atividade, caso se sinta desconfortável. Desta forma, caso ocorra algum problema decorrente da participação de seu(sua) filho(a) na pesquisa, seu(sua) filho(a) terá acompanhamento médico e/ou assistência psicológica no serviço público municipal de saúde e/ou em caso de inexistência de vagas ou profissionais, o tratamento será custeado pelo pesquisador.

Caso seja verificado algum constrangimento durante os encontros, o pesquisador irá intervir, direcionando o assunto tratado. É garantido ao(à) seu(sua) filho(a), também:

- Receber resposta a qualquer pergunta, ou esclarecimento a qualquer dúvida acerca dos procedimentos, riscos, benefícios e outros assuntos relacionados com a pesquisa;

- Poder retirar o consentimento de seu(sua) filho(a) a qualquer momento, deixando de participar do estudo, sem que isso traga qualquer tipo de prejuízo ou constrangimento;
- Que seu(sua) filho(a) não será identificado quando da divulgação dos resultados e que todas as informações obtidas serão utilizadas apenas para fins científicos vinculados à pesquisa;
- Que, em caso de dano, durante a pesquisa, será garantida a indenização;
- Que, se existirem gastos adicionais, estes serão absorvidos pelo orçamento da pesquisa.

Os benefícios e vantagens em participar deste estudo são: a) conhecer e testar uma nova ferramenta de aprendizagem; b) ter acesso a conteúdos de forma interativa e inovadora; c) visualizar e manipular moléculas 3D de forma diferenciada; d) ter a oportunidade de adquirir novos conhecimentos em relação a geometria molecular; e) contribuir para que o uso dessa ferramenta venha a ser ampliado e mais efetivamente explorado no ensino de Química.

Se julgar necessário, o(a) Sr(a) dispõe de tempo para que possa refletir sobre a participação do seu filho(a), consultando, se necessário, seus familiares ou outras pessoas que possam ajudá-los na tomada de decisão livre e esclarecida.

As pessoas que acompanharão os procedimentos são os pesquisadores Alex Eder da Rocha Mazzuco, estudante de doutorado, professor Dr. Eliseo Reategui, orientador de doutorado e professora Dra. Raquel Salcedo, coorientadora de doutorado.

Garantimos ao(à) Sr(a) a manutenção do sigilo e da privacidade da participação do seu filho(a) e de seus dados durante todas as fases da pesquisa e posteriormente na divulgação científica.

O(A) Sr(a). pode entrar em contato com o pesquisador responsável pelo estudo, Alex Eder da Rocha Mazzuco, a qualquer tempo para informação adicional, por meio do e-mail a.....@gmail.com e/ou do telefone (55) XXXXX-XXXX.

O(A) Sr(a). também pode entrar com o **Comitê de Ética em Pesquisa – CEP IFFar**.

O Comitê de Ética na Pesquisa (CEP) é um órgão colegiado de caráter consultivo, educativo e deliberativo, instituído com o objetivo de zelar pela ética, pela integridade e pela dignidade de seres humanos envolvidos em projetos de pesquisa.

Endereço: Rua Esmeralda, 430, Bairro Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul – Fone/Fax: (55) 32189850

E-mail: cep@iffarroupilha.edu.br

Este documento será elaborado em duas VIAS, que serão rubricadas em todas as suas páginas, exceto a com as assinaturas, e assinadas ao seu término pelo(a) Sr(a)., e pelo pesquisador responsável, ficando uma via com cada um.

CONSENTIMENTO PÓS-INFORMAÇÃO

Declaro que concordo que meu(minha) filho(a) _____

_____ (nome completo do menor de 18 anos) participe desta pesquisa.

Local: _____ Data: ____/____/____

Assinatura do Responsável Legal

Alex Eder da Rocha Mazzuco
São Borja/RS

APÊNDICE III - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado participante,

Convido você a participar da pesquisa intitulada: **“Investigando o Desenvolvimento do Processo de Abstração na Resolução de Problemas de Geometria Molecular Mediada pela Realidade Aumentada”**. Este projeto faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação (PPGIE) do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação (CINTED) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A pesquisa tem como objetivo “investigar como se desenvolve o processo de abstração na resolução de problemas de geometria molecular assistida pela Realidade Aumentada”, ou seja, “investigar como os alunos pensam (raciocinam) no momento em que resolvem problemas de geometria molecular, utilizando um programa que possui tecnologia de Realidade Aumentada”.

A pesquisa será conduzida por meio de aulas, que seguirão o atual formato de ensino remoto da Instituição, onde ocorrerá o estudo, sendo previstos dois ou três encontros adicionais, cada um com 1h30min de duração. Estes encontros acontecerão em um período máximo de duas semanas. Após os encontros (aulas), uma ou duas entrevistas, entre 10 a 15 minutos serão realizadas.

Todas as conversas, atividades e instrumentos a serem aplicados serão mantidos em total sigilo, servindo apenas para os fins desta pesquisa, não se revelando os nomes dos participantes.

Os riscos desta pesquisa serão mínimos. As possibilidades destas ocorrências poderão ser de ordem psíquica: incômodo em compartilhar alguma informação, desconforto, estresse ou cansaço ao realizar as atividades, ou em se expressar sobre algum tópico. Por isso, é importante esclarecer que você não precisa realizar qualquer atividade, caso se sinta desconfortável. Desta forma, caso ocorra algum problema decorrente de sua participação na pesquisa, você terá acompanhamento médico e/ou assistência psicológica no serviço público municipal de saúde e/ou em caso de inexistência de vagas ou profissionais, o tratamento será custeado pelo pesquisador.

Caso seja verificado algum constrangimento durante os encontros, o pesquisador irá intervir, direcionando o assunto tratado. É garantido ao aluno, também:

- Receber resposta a qualquer pergunta, ou esclarecimento a qualquer dúvida acerca dos procedimentos, riscos, benefícios e outros assuntos relacionados com a pesquisa;
- Poder retirar seu consentimento a qualquer momento, deixando de participar do estudo, sem que isso traga qualquer tipo de prejuízo ou constrangimento;
- Que você não será identificado quando da divulgação dos resultados e que todas as informações obtidas serão utilizadas apenas para fins científicos vinculados à pesquisa;
- Que, em caso de dano, durante a pesquisa, será garantida a indenização;
- Que, se existirem gastos adicionais, estes serão absorvidos pelo orçamento da pesquisa.

Os benefícios e vantagens em participar deste estudo são: a) conhecer e testar uma nova ferramenta de aprendizagem; b) ter acesso a conteúdos de forma interativa e inovadora; c)

visualizar e manipular moléculas 3D de forma diferenciada; d) ter a oportunidade de adquirir novos conhecimentos em relação a geometria molecular; e) contribuir para que o uso dessa ferramenta venha a ser ampliado e mais efetivamente explorado no ensino de Química.

As pessoas que acompanharão os procedimentos são os pesquisadores Alex Eder da Rocha Mazzuco, estudante de doutorado, professor Dr. Eliseo Reategui, orientador de doutorado e professora Dra. Raquel Salcedo, coorientadora de doutorado.

Solicitamos a sua autorização para o uso de seus dados para a produção de artigos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida através da não identificação do seu nome.

Este documento será elaborado em duas VIAS, que serão rubricadas em todas as suas páginas, exceto a com as assinaturas, e assinadas ao seu término pelo participante da pesquisa, e pelo pesquisador responsável, ficando uma via com cada um.

O responsável pela pesquisa é o aluno de doutorado Alex Eder da Rocha Mazzuco, seu e-mail é a.....@gmail.com e seu telefone é (55) XXXXX-XXXX.

Alex Eder da Rocha Mazzuco

São Borja/RS

Comitê de Ética em Pesquisa – CEP IFFar.

O Comitê de Ética na Pesquisa (CEP) é um órgão colegiado de caráter consultivo, educativo e deliberativo, instituído com o objetivo de zelar pela ética, pela integridade e pela dignidade de seres humanos envolvidos em projetos de pesquisa.

Endereço: Rua Esmeralda, 430, Bairro Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul – Fone/Fax: (55) 32189850

E-mail: cep@iffarroupilha.edu.br

TERMO DE CONSENTIMENTO

Pelo presente Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, declaro que autorizo a participação de meu responsabilizado nesta pesquisa, pois fui devidamente informado, de forma clara e detalhada, livre de qualquer constrangimento e coerção, dos objetivos, da justificativa, dos instrumentos de coletas de informação que serão utilizados, dos riscos e benefícios, conforme já citados neste termo.

Nome por extenso _____

Assinatura _____ Local: _____ Data: ____/____/____

APÊNDICE IV - ATIVIDADE DE APOIO À ENTREVISTA

Classifique a ordem de conceitos que você utilizou para resolver o problema de geometria molecular:

- 0 - Não pensei nisso.
- 1 - Primeira coisa que pensei.
- 2 - Segunda coisa que pensei.
- 3 - Terceira coisa que pensei... e assim sucessivamente.

Conceitos:

- Observei o número de ligações que cada átomo faz;
- Determinei a fórmula de Lewis/estrutural da molécula;
- Determinei qual é o átomo central;
- Verifiquei o número de nuvens eletrônicas;
- Verifiquei se tem par de elétrons livres;
- Imaginei a molécula e pensei nas geometrias possíveis, considerando o número de átomos envolvidos;
- Outra. Qual? _____

Descreva alguma outra informação que te ajudou a resolver o problema:

APÊNDICE V - ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Roteiro – Entrevista Semiestruturada	
Nº	Perguntas relacionadas aos processos de resolução de problemas
1	O como você resolveu este problema?
2	Como você soube realizar esta etapa (ou ideia expressada pelo aluno)?
3	Ao ver o problema, quais foram as primeiras coisas (características) que você observou?
4	Como isso se compara (se relaciona) a outros problemas que você viu?
5	Você lembrou de algo visto em aula? Algo que você leu ou que o professor falou?
6	De que forma isso é semelhante/diferente de outros problemas que você viu?
7	Qual foi a parte mais fácil/difícil do problema?

**APÊNDICE VI – OCORRÊNCIAS DE CADA TIPO DE RACIOCÍNIO
CONSIDERANDO PROBLEMAS “1” E “2” (SEM AGRUPAMENTO)**

Grupo			Aula Tradicional				Aula Realidade Aumentada			
			1A		2A		1B		2B	
			Modo de Abstração		Modo de Abstração		Modo de Abstração		Modo de Abstração	
			Parcial	Estrita	Parcial	Estrita	Parcial	Estrita	Parcial	Estrita
GI	Nível de Abstração	Diferente	P: 0	R: 7	P: 0	R: 4	P: 2	R: 5	P: 3	R: 3
		Aproximado/ Igual	S: 0	BM: 1	S: 0	BM: 4	S: 1	BM: 0	S: 1	BM: 1
Grupo			Aula Realidade Aumentada				Aula Tradicional			
			1A		2A		1B		2B	
			Modo de Abstração		Modo de Abstração		Modo de Abstração		Modo de Abstração	
			Parcial	Estrita	Parcial	Estrita	Parcial	Estrita	Parcial	Estrita
GII	Nível de Abstração	Diferente	P: 4	R: 4	P: 3	R: 2	P: 3	R: 1	P: 3	R: 2
		Aproximado/ Igual	S: 0	BM: 0	S: 3	BM: 0	S: 2	BM: 2	S: 2	BM: 1

Abreviações consideradas:

- Raciocínio de Protótipo: **P**
- Raciocínio Baseado em Similaridade: **S**
- Raciocínio Baseado em Regras: **R**
- Raciocínio Baseado em Banco de Memória: **BM**

APÊNDICE VI – RESULTADOS DA ATIVIDADE DE APOIO À ENTREVISTA

As colunas de A à F correspondem aos conceitos apresentados no Apêndice IV, já os números de 1 a 6 referem-se a ordem que cada aluno pensou os conceitos. A atribuição de “0” a determinado conceito significa que o aluno não o considerou em sua resolução.

Grupo	Aluno	Aula Tradicional						Aula Realidade Aumentada					
		1A - 2A						1B - 2B					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
GI	01	0	0	1	2	0	0	3	2	1	6	5	4
	02	4	0	3	1	2	0	2	6	1	3	4	5
	03	1	0	3	2	0	0	1	0	4	2	5	3
	04	0	0	1	2	3	0	5	6	1	2	3	4
	05	1	3	2	0	0	0	3	6	1	4	5	2
	06	2	0	0	1	0	0	2	6	1	5	4	3
	07	2	0	1	0	0	0	5	3	1	6	4	2
	08	2	3	1	0	0	0	3	4	1	0	5	2
Grupo	Aluno	Aula Realidade Aumentada						Aula Tradicional					
		1A - 2A						1B - 2B					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
GII	10	2	6	3	5	4	1	3	6	2	4	5	1
	11	6	5	2	1	3	4	5	6	1	2	3	4
	12	4	3	1	2	5	6	2	4	1	3	5	6
	13	3	6	1	5	2	4	1	6	2	4	3	5
	14	1	6	3	5	4	2	3	6	2	5	4	1
	15	2	1	3	4	6	5	4	1	3	6	5	2
	16	2	1	3	0	0	4	3	4	1	6	5	2
	17	0	4	1	0	3	2	3	2	1	6	4	5