

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL
EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL – PROFQUI



LAÉRCIO RODRIGUES DOEGE JÚNIOR

**REALIDADE AUMENTADA NO ENSINO DE QUÍMICA: PROPOSTA DE UMA
SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES IÔNICAS E
COVALENTES NA PRIMEIRA SÉRIE DO ENSINO MÉDIO**

PORTO ALEGRE

2023

LAÉRCIO RODRIGUES DOEGE JÚNIOR

**REALIDADE AUMENTADA NO ENSINO DE QUÍMICA: PROPOSTA DE UMA
SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES IÔNICAS E
COVALENTES NA PRIMEIRA SÉRIE DO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa Nacional de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional PROFQUI da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Química, sob orientação da Profa. Dra. Silvana Inês Wolke.

PORTO ALEGRE

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Dedico este trabalho ao meu filho
Artur Oliveira Doege, na esperança de um
futuro de educação de qualidade a todas
as crianças e adolescentes.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a minha esposa Grazielle e meu filho Artur, por me apoiarem nos momentos difíceis, entenderem minhas ausências nos momentos de estudo, durante as aulas e principalmente na geração desta dissertação. Vocês são o principal motivo para toda esta jornada, esta vitória também é de vocês.

Aos meus pais, irmão e demais familiares que contribuíram para que eu chegasse até aqui.

Aos colegas do CEDUP Industrial de Lages, por todo o suporte que me permitiu chegar a esta última etapa para a conclusão deste programa.

A todos os professores do Instituto de Química da UFRGS – Programa PROFQUI, que estiveram durante toda a duração do programa compartilhado seu conhecimento, experiências, tempo e dedicação.

A professora Dra. Silvana Inês Wolke, por toda a atenção, carinho, apoio e orientação na construção deste trabalho.

Aos professores Dr. Aloir Antonio Merlo e Dra. Emilene Mendes Becker por suas grandiosas contribuições e disponibilidade para e durante a avaliação deste trabalho. À professora Dra. Eliana Weber de Menezes por sua participação e suas valiosas contribuições na banca de avaliação e nas revisões finais deste trabalho.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro.

A todos os colegas do curso do PROFQUI que, mesmo à distância, prestaram apoio e contribuíram para o crescimento do coletivo.

A todos que me ajudaram de alguma forma.

Por fim, mas de maneira fundamental, agradeço à Nossa Senhora Aparecida, luz que guiou a condução deste texto, sobretudo nos momentos em que as palavras faltaram e o cansaço dominou. A Ela, toda honra e toda glória.

Ciência e vida cotidiana não podem e não
devem ser separadas.

(Rosalind Franklin)

RESUMO

Os estudantes frequentemente se deparam com leis e conceitos altamente abstratos na química e precisam estabelecer conexões entre esses conceitos e os fenômenos observados, destacando a importância da capacidade de visualização para uma compreensão eficaz da disciplina. A capacidade de visualização e imaginação espacial desempenha um papel crucial no aprendizado da química, permitindo a construção de conexões entre fenômenos e explicações. A simbiose entre tecnologia e educação está se tornando um atributo valioso para o ensino, enriquecendo as abordagens tradicionais de aprendizado. As Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) têm o potencial de aprimorar a eficácia e eficiência do processo de ensino-aprendizagem, permitindo aos alunos contextualizarem informações de maneira mais ampla e minimizar interpretações incorretas. Na área da química, a Realidade Aumentada (RA) se destaca como uma tecnologia emergente com grande potencial educacional. Este estudo desenvolveu uma Sequência Didática baseada em Realidade Aumentada para melhorar a compreensão dos alunos sobre ligações químicas, especialmente no nível microscópico. O presente estudo foi realizado em Centro de Educação Profissional (CEDUP) em Lages, Santa Catarina. A escola escolhida foi o CEDUP Industrial de Lages onde o professor pesquisador é efetivo na disciplina de química. Foram selecionadas por conveniência duas turmas, cada uma com 14 alunos, totalizando 28 alunos participantes do estudo. Os resultados mostraram que a RA despertou um maior interesse e engajamento dos alunos, aprimorando a compreensão de conceitos fundamentais de ligações químicas. Além disso, o feedback em tempo real fornecido pela RA estimulou o pensamento crítico e a autorregulação da aprendizagem.

Palavras-chave: Ensino da química. Ligações químicas. Visualização espacial. Realidade aumentada. Sequência didática.

ABSTRACT

Students often encounter highly abstract laws and concepts in chemistry and need to make connections between these concepts and observed phenomena, highlighting the importance of visualization skills for an effective understanding of the discipline. The ability to visualize and imagine space plays a crucial role in learning chemistry, allowing connections to be made between phenomena and explanations. The symbiosis between technology and education is becoming a valuable attribute for teaching, enriching traditional learning approaches. Digital Information and Communication Technologies (TDICs) have the potential to improve the effectiveness and efficiency of the teaching-learning process, allowing students to contextualize information more broadly and minimize incorrect interpretations. In the area of chemistry, Augmented Reality (AR) stands out as an emerging technology with great educational potential. This study developed a Didactic Sequence based on Augmented Reality to improve students' understanding of chemical bonds, especially at the microscopic level. The present study was carried out at the Professional Education Center (CEDUP) in Lages, Santa Catarina. The chosen school was CEDUP Industrial de Lages where the research professor is effective in the chemistry discipline. Two classes were selected for convenience, each with 14 students, totaling 28 students participating in the study. The results showed that AR sparked greater interest and engagement among students, improving their understanding of fundamental concepts of chemical bonds. Furthermore, the real-time feedback provided by AR stimulated critical thinking and self-regulation of learning.

Keywords: Chemistry teaching. Chemical bonds. Spatial visualization. Augmented reality. Following teaching.

LISTA DE ABREVIATURAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
AR	<i>Augmented Reality</i>
AS	Aprendizagem Significativa
CEDUP Industrial	Centro de Educação Profissional Industrial de Lages
NEM	Novo Ensino Médio
OM	Objeto Modelo
PND Contínua	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
PROFQUI	Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional
RA	Realidade Aumentada
SD	Sequência Didática
TDICs	Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação
TLV	Teoria da Ligação de Valência
TOM	(Teoria do Orbital Molecular
RPECV	Repulsão dos Pares de Elétrons da Camada de Valência
VSEPR	<i>Vallence Shell Electron-pair Repulsion</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Triângulo de Johnstone (1993).	26
Figura 2 – Triângulo de Johnstone (1993) e nomenclaturas possíveis a serem atribuídas à cada uma das dimensões.	27
Figura 3 – Modelos atômicos propostos por Dalton (1803), Thomson (1897), Rutherford (1911), Bohr (1913) e o modelo quântico (1916).	29
Figura 4 – Habilidades de aprendizagem necessárias à compreensão de um novo conceito	31
Figura 5 – Modelo de aprendizagem proposto por Johnstone (1993)	31
Figura 6 – Elementos componentes de uma Sequência Didática (SD) de acordo com Méheut (2005).	39
Figura 7 – Dimensões de uma Sequência Didática (SD) de acordo com Méheut (2005)	40
Figura 8 – Exemplo de sequência de atividades de uma rotina didática proposto por Pozo e Crespo (2009).	42
Figura 9 – Óculos de Realidade Virtual (RV).	46
Figura 10 – Continuum Realidade-Virtualidade.	46
Figura 11 – Funcionamento da Realidade Aumentada em um smartphone.	48
Figura 12 – Imagem ilustrativa do jogo Pokémon GO.	49
Figura 13 – Síntese das quatro teorias primitivas sobre a composição da matéria.	54
Figura 14 – Pierri Gassendi e Isaac Newton.	54
Figura 15 – Tabela da Afinidade Química de Etienne François Geoffroy.	55
Figura 16 – Tabela de representações de átomos de Dalton.	56
Figura 17 – Representação cúbica de átomos proposta por Lewis.	57
Figura 18 – Diagrama proposto por Linus Pauling.	58
Figura 19 – Princípios básicos da Teoria da Ligação de Valência (TLV).	59
Figura 20 – Camadas eletrônicas de um átomo.	61
Figura 21 – Valores de l para cada subnível e tipo de orbitais.	62
Figura 22 – Valores de l e os respectivos valores de m , e número de orbitais por subcamada.	62
Figura 23 – Teoria eletrônica da valência.	64
Figura 24 – Elétrons de valência de alguns elementos do grupo principal.	65

Figura 25 – Fragmento de cloreto de sódio demonstrando a natureza do sólido iônico.	70
Figura 26 – Localização de Lages no estado de Santa Catarina.	74
Figura 27 – Fachada do CEDUP Industrial de Lages.....	75
Figura 28 – Delineamento esquemático das etapas da pesquisa.	77
Figura 29 – Esquema ilustrativo da estrutura da Sequência Didática proposta.	82
Figura 30 – Exemplo de mapa mental produzido pelos alunos.	90
Figura 31 – Cards de ativação do aplicativo de Realidade Aumentada.	94
Figura 32 – Tela inicial e recursos disponíveis no aplicativo de Realidade Aumentada.	95
Figura 33 – Alunos utilizando a Realidade Aumentada durante o momento 5 da Sequência Didática.	96
Figura 34 – Representação da ligação química da água pelo aplicativo de Realidade Aumentada.	96
Figura 35 – Representação da ligação química do Dióxido de Enxofre pelo aplicativo de Realidade Aumentada.	97
Figura 36 – Abordagens preponderantes para o ensino das ciências de acordo com Pozo e Crespo (2009).	106
Figura 37 – Síntese dos principais resultados positivos em relação ao uso de Realidade Aumentada para o ensino do conteúdo de ligações químicas.	132

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percepção dos alunos sobre seu nível de compreensão da disciplina de química.....	100
Gráfico 2 – Percepção dos alunos sobre os fatores que dificultam sua compreensão em química.....	102
Gráfico 3 – Percentual de alunos que informaram que possuem uma ou mais dificuldades na compreensão da disciplina de química.....	103
Gráfico 4 – Utilização prévia de algum aplicativo de Realidade Aumentada.....	109
Gráfico 5 – Nível de compreensão sobre o conteúdo de ligações químicas antes de utilizar a Realidade Aumentada.....	111
Gráfico 6 – Nível de compreensão sobre o conteúdo de ligações químicas antes de utilizar a Realidade Aumentada.....	112
Gráfico 7 – Comparativo entre a percepção do nível de compreensão sobre o conteúdo de ligações químicas antes e depois da utilização da Realidade Aumentada.	112
Gráfico 8 – Visualização das estruturas moleculares e ligações químicas com a utilização da Realidade Aumentada.	114
Gráfico 9 – Utilidade da Realidade Aumentada para o aprendizado de ligações químicas.....	115
Gráfico 10 – Nível de envolvimento durante as aulas de químicas ANTES de conhecer a Realidade Aumentada.....	116
Gráfico 11 – Nível de envolvimento durante as aulas de químicas DEPOIS de conhecer a Realidade Aumentada.	118
Gráfico 12 – Comparativo entre o grau de envolvimento dos alunos nas aulas, antes e depois de utilizarem a Realidade Aumentada.	118
Gráfico 13 – Nível de aprendizagem na percepção dos próprios alunos utilizando Realidade Aumentada em relação às aulas convencionais.	120
Gráfico 14 – Fixação dos conteúdos de ligações químicas aprendidos por meio da Realidade Aumentada na percepção dos alunos.....	121
Gráfico 15 – Nível de recomendação da utilização da Realidade Aumentada nas aulas de química.....	124
Gráfico 16 – Nível de dificuldade/facilidade de utilização do aplicativo de Realidade Aumentada.....	125

Gráfico 17 – Ocorrência de problemas/ <i>bugs</i> durante o uso do aplicativo.	127
Gráfico 18 – Limitação do uso do aplicativo na percepção dos alunos.	129

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS.....	21
1.1.1 Objetivo Geral	21
1.1.2 Objetivos Específicos	21
2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	23
2.1 O ENSINO DA QUÍMICA	23
2.1.1 Metodologias ativas de aprendizagem e a Aprendizagem Significativa (AS) em química.....	32
2.1.2 Sequência Didática	39
2.2 A REALIDADE AUMENTADA PARA O ENSINO DA QUÍMICA	43
2.2.1 Aplicativos para dispositivos móveis utilizados no ensino de química	50
2.3 LIGAÇÕES QUÍMICAS.....	51
2.3.1 Conceitos fundamentais sobre ligações químicas	60
2.3.2 Ligações iônicas	68
2.3.2 Ligações covalentes	70
3 PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS	74
3.1 LOCAL DO ESTUDO.....	74
3.2 CARACTERIZAÇÃO E CONDIÇÕES GERAIS DO ESTUDO	75
3.3 ETAPAS DA PESQUISA	77
3.2 PARTICIPANTES DO ESTUDO E QUESTÕES ÉTICAS.....	79
3.3 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS.....	80
3.4 ANÁLISE DOS DADOS	81
3.5 ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PROPOSTA	81
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	89

4.1 RELATO DA EXPERIÊNCIA: SEQUÊNCIA DIDÁTICA E O USO DA REALIDADE AUMENTADA.....	89
4.2 COMPREENSÃO DA DISCIPLINA DE QUÍMICA NA PERCEPÇÃO DOS ALUNOS.....	100
4.3 UTILIZAÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS.....	108
4.3.1 Interface e utilização do aplicativo de realidade aumentada	125
4.4 SÍNTESE DOS PONTOS POSITIVOS EM RELAÇÃO A UTILIZAÇÃO DE REALIDADE AUMENTADA PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS.....	132
4.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	135
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	137
REFERÊNCIAS.....	139
APÊNDICES	145
APÊNDICE A.....	146
APÊNDICE B.....	148
APÊNDICE C.....	150
APÊNDICE D.....	151
APÊNDICE E.....	153
APÊNDICE F.....	154

1 INTRODUÇÃO

Todos os aspectos do mundo de hoje, incluindo política e relações internacionais, são afetados pela química.

(Linus Pauling)

O processo de ensino aprendizagem utilizado para o ensino da química, com o uso de livros didáticos e formulações registradas no quadro, em alguns casos tem demonstrado pouca efetividade, sobretudo em meio às mudanças ocorridas na educação brasileira neste período de pós-Covid-19.

Na maioria das vezes, essa metodologia de ensino dita tradicional não consegue prender a atenção dos estudantes e motivá-los a entender determinados assuntos curriculares, principalmente os correspondentes a disciplina de química. Mesmo quando os alunos conseguem vivenciar uma relação mais aproximada com a química, por meio de aulas práticas em laboratórios mais ou menos equipados, ainda lhes faltam atributos para compreender os conceitos da química ou as simbologias por ela utilizados.

Um estudo realizado por Johnstone (1993) demonstrou que, desde os primórdios do ensino da química como disciplina, parecia existir uma metodologia mais ou menos estabelecida entre os professores que consistia em dotar os estudantes de conceitos generalistas, leis e definições que eram meramente memorizadas por estes alunos. O próprio autor do trabalho relata que, ao iniciar sua carreira como docente, recebeu um “livro de receitas” (*grifo nosso*) de fórmulas e tratados de como ensinar química. Relata ainda, que esse manual era o mesmo utilizado pelos professores há mais de 60 anos. A contextualização e visualização mais macro dos conceitos fundamentais da química pouco ou nada eram discutidos e/ou problematizados. Nas palavras do autor “era como se o tempo químico tivesse parado por mais de meio século” (JOHNSTONE, 1993, p. 702, *tradução nossa*).

Parece ser consenso entre muitos autores, a exemplo do que postulou Johnstone (1993) inicialmente, de que a química pode ser dividida em três componentes básicos: a química macroscópica, que é tangível e visível; a química submicroscópica, das moléculas e átomos e; a química representacional, dos símbolos, equações, estequiometria e matemática (JOHNSTONE, 1993;

TALANQUER, 2011; PAULETTI, 2017; SANTOS, 2020; UPAHI; RAMNARAIN, 2019; NASCIMENTO; MOREIRA; PIZZATO, 2021; SILVA; NETO, 2021).

Upahi e Ramnarain (2019) defendem que os alunos têm dificuldades em compreender a química em cada nível representacional e em mover-se sem esforço entre os níveis descritos por Johnstone (1993). Deste modo, para melhor compreensão da química seria necessário que os alunos construíssem imagens mentais dos comportamentos das entidades químicas para melhor compreender os conceitos envolvidos.

Além do estudo supramencionado, vários outros estudos recentes buscam abordar quais outras dificuldades são vivenciadas pelos estudantes e pelos professores no ensino e aprendizagem da química. Algumas problemáticas apresentadas por estes estudos reforçam a necessidade de que os alunos possuam uma boa visualização espacial para transpor as barreiras da abstração tão inerente à química (MONTALBO, 2021; FOMBONA-PASCUAL; FOMBONA; VICENTE, 2022).

Pozo e Crespo (2009) abordam o conceito de abstração para a química informando que a dificuldade na aprendizagem dos alunos pode ocorrer devido à necessidade de compreensão e análise das propriedades e transformações da matéria. Comumente, os alunos são confrontados com um considerável número de leis e novos conceitos fortemente abstratos. A partir do que viram, precisam estabelecer novas conexões entre estes conceitos e entre os fenômenos estudados. Por fim, os alunos ainda precisam representar o que aprenderam por meio de uma linguagem altamente formal e simbólica recheada de modelos e representações bidimensionais que tentam imaginar aquilo que não é observável a olho nu.

Diante dessa reflexão, a capacidade visualização e imaginação espacial dentro da química surge como um fator importante no aprendizado da disciplina já que por meio deste atributo se é capaz de construir uma ponte para ligar os fenômenos às explicações. Por outro lado, se a visualização espacial não for bem calibrada, pode levar a interpretações errôneas e por consequência, acabam se tornando em grandes obstáculos para o aprendizado (BERNHOLT; 2019).

Outra dificuldade no ensino da química se refere à gama de conhecimentos prévios provenientes de outras disciplinas como a matemática, física e o português na interpretação dos enunciados das questões de química ou para estabelecer conexões entre os assuntos abordados (PEREIRA; ANDRADE, 2018).

Além disso, muitos estudos ainda retratam a realidade da maioria dos espaços escolares, onde há falta de recursos tecnológicos e de locais de experimentação, como laboratórios equipados adequadamente para transpor a química submicroscópica para algo mais tangível, configurando-se assim em mais um desafio a ser vencido (CAPORALIN, 2014; MEDEIROS, 2019).

Se de um lado, há uma gama enorme de trabalhos focando nos desafios de se ensinar a química, de outro, também são numerosos os estudos que se focam em tentar equalizar todas estas questões procurando novas alternativas para o estudo da disciplina.

Nesta ótica, é importante destacar que a educação brasileira passou por diversas transformações nos últimos 2 anos em relação às metodologias de ensino adotadas já que foi necessário inserir as aulas remotas em meio ao cenário caótico vivenciado pela pandemia da COVID-19. Deste modo, os trabalhos mais recentes trazem como foco de estudo o uso de aplicativos com as mais diversas finalidades (interação, visualização de moléculas, representações estruturais de geometria molecular, dentre outras), além de estudar como a gamificação¹ pode contribuir no aprendizado por meio de uma metodologia ativa (RIBEIRO, 2021; DA SILVA SANTOS; MARQUES, 2022).

Todos estes estudos concluem que as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) tem um grande potencial pedagógico já que apresentam vários recursos que lhes são próprios e característicos para melhorar o desenvolvimento de algumas capacidades cognitivas dos estudantes (NASCIMENTO, 2021). O número de estudos que envolve as TDICs, sobretudo para ensino das ciências naturais, tem aumentado exponencialmente nos últimos anos e vão ao encontro da necessidade de inovação e renovação para educação dentro desse contexto contemporâneo (GRANDO; AIRES; CLEOPHAS, 2020).

É inerente para as ciências naturais que sejam desenvolvidos materiais didáticos que venham contribuir para que os alunos possam compreender os conteúdos abordados além de promover sua motivação no sentido de estudar a

¹ De acordo com Kapp (2012), a Gamificação ou *Gamification* é o uso de jogos como mecanismo para fazer a aprendizagem mais divertida e mais profunda. A gamificação inclui desafio e tomada de decisão, características intrínsecas a qualquer jogo. Ainda segundo o autor, os jogos são ambientes ideais para a aprendizagem pois motivam ação, promovem aprendizagem porque o jogador fica preso em um jogo com feedback instantâneo, que é definido por meio de regras que provocam reação emocional no participante. Como consequência, o jogador é encorajado a raciocinar e resolver problemas.

ciência de maneira aprofundada. As TDICs podem aumentar a eficácia e eficiência do processo de ensino aprendizagem já que auxiliam os alunos a contextualizarem os assuntos de maneira mais macro, rompendo possíveis interpretações errôneas (YAMTINAH *et. al*, 2021).

A simbiose entre tecnologia e educação está se tornando um bom atributo para o ensino. Assim, aprender usando a tecnologia complementar as formas tradicionais de ensino e aprendizagem (GRANDO; AIRES; CLEOPHAS, 2020). A química ainda é vista por muitos como imaterial e abstrata e que exige uma gama enorme de compreensão de outros conceitos e grandes habilidades de imaginação. Nesse sentido, a escolha da metodologia ou o processo de ensino desempenham um aspecto significativo para evitar ou reduzir os mal-entendidos dos alunos (HANAFI; ELAACHAK; BOUHORMA, 2019).

Entre as tecnologias que poderiam ser aplicadas para o ensino da química, surge a Realidade Aumentada² (RA) que é uma tecnologia emergente que possui grandes possibilidades de uso e tem sido continuamente adaptada como uma alternativa eficaz para a educação (MONTALBO, 2021). Pode-se definir a RA como uma interface virtual, em duas dimensões (2D) ou três dimensões (3D), que aprimora (ou amplia) o que se observa sobrepondo informações adicionais ao mundo real, a partir de um conteúdo digital. A imersão no mundo virtual não é total, já que o observador ainda consegue observar o mundo real à sua volta (ELMQADDEM, 2019, p. 237-238, *tradução nossa*).

A partir do uso de TDICs, este trabalho elaborou uma Sequência Didática (SD) com base na Realidade Aumentada que pudesse agregar valores ao processo de aquisição de conhecimento, além de dinamizar a aprendizagem de modo a contextualizá-la proporcionando uma melhor compreensão da química, sobretudo a microscópica.

As Sequências Didáticas (SDs) podem ser definidas como um conjunto de atividades ligadas entre si que são planejadas com intenção de atingir determinado objetivo (DA SILVA SANTOS; MARQUES, 2022). As SDs visam ultrapassar o

² De acordo com a publicação da Elmqaddem (2019, p. 234, *tradução nossa*), o termo Augmented Reality (AR) foi cunhado pelos autores Thomas Caudell e David Mizell – pesquisadores da *Boing Company* – em 1990 e foi adotado inicialmente para descrever como funcionavam os monitores que eram usados na cabeça dos eletricitistas que montavam os chicotes elétricos. Este mecanismo auxiliava no processo de montagem dos cabos das aeronaves apontando instantaneamente as ligações corretas para os cabos.

instrucionismo favorecendo o desenvolvimento da autonomia dos educandos no processo de aprender. De acordo com Méheut (2005) as SDs constituem-se de quatro componentes: professor, aluno, mundo real e conhecimento científico. Estes quatro componentes articulam-se entre si por meio de duas dimensões: a epistêmica que trata da relação entre o conhecimento científico com o mundo material e; a dimensão pedagógica que trata da interação entre professor e aluno.

Diante do exposto, este trabalho pretende, a partir da elaboração de uma Sequência Didática (SD), apresentar uma alternativa de metodologia de ensino baseada em RA, que possa contribuir para romper a abstração do campo da química, com foco no conteúdo de ligações químicas para os alunos do primeiro ano do ensino médio.

A partir disso, o objeto de estudo deste trabalho se foca na utilização de novas tecnologias, em especial a realidade aumentada, para auxiliar o ensino e aprendizagem dos conteúdos de ligações químicas na disciplina de química do ensino médio. A sequência didática pretende aliar os aspectos teóricos dos conteúdos de ligações iônicas e covalentes com a interatividade de um aplicativo específico, mostrando aos estudantes uma fácil associação do teórico, com um lúdico macroscópico, promovendo uma melhor apreensão dos conteúdos abordados.

Diante dessa perspectiva, formula-se a pergunta de pesquisa: **A realidade aumentada pode contribuir com o aprendizado dos alunos da primeira série do ensino médio sobre os conteúdos de ligações químicas?**

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar, a partir de uma sequência didática, como a realidade aumentada pode contribuir com o aprendizado dos alunos da primeira série do ensino médio sobre os conteúdos de ligações químicas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Pesquisar as metodologias de aprendizagem utilizadas atualmente no ensino de química, com foco no conteúdo de ligações químicas.

- b) Conhecer o que já foi publicado em relação ao ensino de química a respeito da realidade aumentada.
- c) Desenvolver uma sequência didática a partir do uso de um aplicativo de realidade aumentada, que trabalhe com a aplicação dos conceitos de ligações químicas para o primeiro ano do Novo Ensino Médio (NEM).
- d) Verificar a efetividade do uso do aplicativo de realidade aumentada para o processo de ensino e aprendizagem dos alunos.
- e) Contextualizar como o uso do aplicativo de realidade aumentada pode contribuir com a metodologia de ensino convencional a partir da sequência didática proposta.

A presente Dissertação está organizada em mais quatro seções, além da Introdução.

A seção 2 apresenta a **revisão de literatura**. Esta seção foi subdividida em três subseções que inicialmente tratam dos desafios do ensino da química, em específico para os estudantes da primeira série do Ensino Médio. Na sequência, são revisados os conceitos teóricos implicados no conteúdo de ligações químicas e, por fim, esta seção aborda a metodologia ativa a partir do uso da realidade aumentada.

Os **pressupostos metodológicos**, bem como o delineamento da pesquisa em si são abordados na seção 3. Esta seção apresenta os processos percorridos pela pesquisa, caracterizando os sujeitos objetos de estudo, bem como os aspectos éticos envolvidos na coleta dos dados. Além disso, apresenta uma introdução ao produto educacional e como ele foi aplicado aos participantes da pesquisa e a metodologia de análise dos dados empregada para o estudo.

A seção 4 aborda os **resultados e discussões** obtidos a partir da aplicação de questionários e exercícios práticos aos participantes do estudo a partir do produto educacional desenvolvido. Esta seção utiliza as contribuições de autores para embasar as discussões sobre os resultados obtidos.

Por fim, a seção 5 traz as **considerações finais** que resgatam as atividades elaboradas para a sequência didática, trazendo reflexões e ponderações para futuras pesquisas acerca da temática e do produto educacional desenvolvido.

2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

“Se você não souber nada sobre química, em minha opinião, você não se beneficia de tudo o que foi alcançado pela civilização”.

(Roger Kornberg)

A revisão de literatura é a parte indispensável no processo de compreensão do tema proposto. Tem como objetivos propor referenciais teóricos, localizar, analisar e sintetizar informações prévias com base em artigos científicos. Diante disso, essa etapa está dividida em três seções: o ensino da química; as ligações químicas e; a realidade aumentada para o ensino da química.

Estas seções buscam discutir, problematizar e trazer informações sobre o ensino da química e as dificuldades enfrentadas pelos professores cotidianamente, com foco no conteúdo de ligações químicas. A partir da compreensão desses temas iniciais, introduz-se o conceito de realidade aumentada e como essa nova metodologia poderia ser empregada para o ensino de ligações químicas para os alunos da primeira série do Novo Ensino Médio.

As seções aqui apresentadas pretendem dar suporte teórico para a formulação de uma sequência didática que será apresentada dentro dos pressupostos metodológicos deste trabalho.

2.1 O ENSINO DA QUÍMICA

A química é uma ciência que faz parte do cotidiano da humanidade. Assim, compreender os princípios básicos que regem esta ciência torna-se fundamental para compreender os materiais e as transformações sofridas por eles, desde as mais simples às mais complexas. É a partir do entendimento da química que é possível melhorar a contextualização social, cultural, ambiental e histórica do homem frente a sua realidade (MESQUITA; MESQUITA; BARROSO, 2021).

A química se apresenta em tudo, portanto, torna-se fundamental compreender os princípios químicos que estão presentes em todos os lugares e em todo o dia a dia. (CHAVES; MEOTTI, 2019). A química é uma parte das ciências naturais que estuda

os fenômenos naturais. Muitos dos conceitos básicos da química estão no nível submicroscópico e simbólico. A disciplina, de maneira geral, utiliza símbolos e equações para representar e descrever as mudanças químicas sofridas pelos materiais como forma de comunicar suas observações (SARI, *et al.*, 2021). Por este motivo, muitos alunos consideram essa área de conhecimento de difícil compreensão já que envolve cálculos, memorização de fórmulas e conceitos que exigem uma contextualização bem elaborada (CHAVES; MEOTTI, 2019).

Pode-se dizer que os conceitos científicos relacionados às disciplinas de ciência, tecnologia, engenharia ou matemática requerem, por parte do aluno, uma boa habilidade de visualização espacial já que muitas das vezes se baseiam em modelos (MONTALBO, 2021). Deste modo, compreender a interação entre experimentos, modelos e simulações baseadas em modelos que estejam alicerçados no intercâmbio de experiências e vivências entre professores e alunos e entres professores de diversas áreas, sobretudo as ciências naturais torna-se crucial para o processo de ensino aprendizagem em química (BERNHOLT, 2019).

A construção do conhecimento, por sua vez, estaria intimamente relacionada à capacidade de abstração por parte dos alunos. Este conhecimento faz parte de uma realidade que na maioria das vezes não faz parte do cotidiano dos estudantes. Sobretudo para um aluno de primeira série do ensino médio, a capacidade de abstração praticamente inexistente já que o estudo da química é de natureza invisível. O átomo, por exemplo, é invisível, podendo ser visto somente por meio de espectrômetros (DA SILVA; DA SILVA, 2019).

Para o ensino da química, uma das grandes preocupações para os profissionais da educação nos últimos anos é justamente a baixa compreensão por parte dos alunos dos conteúdos da disciplina. Essa dificuldade se relaciona, sobretudo, a falta de habilidade de visualização espacial (MONTALBO, 2021). Para melhor elucidar a questão, recorre-se a teoria de Bunge (1974) que diz que a apreensão de um objeto (ou fenômeno) real, começa a partir de uma esquematização mental desse fenômeno/objeto. Nas palavras de Bunge (1974),

[...] para apreender o real começa-se por afastar-se da informação. Depois, se lhe adicionam elementos imaginários (ou entes hipotéticos), mas com uma intenção realista. Constitui-se assim um objeto-modelo mais ou menos esquemático e que para frutificar deverá ser enxertado sobre uma teoria suscetível de ser confrontada com os fatos (BUNGE, 1974, p. 12).

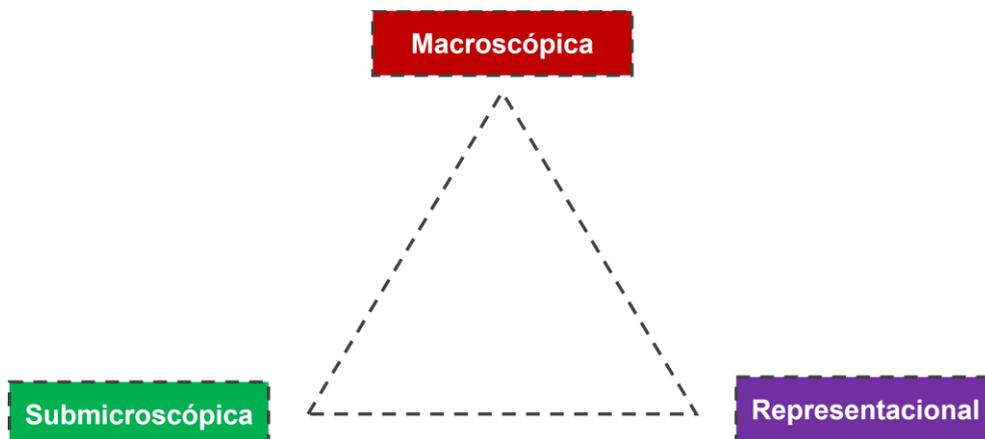
Ou seja, para o autor, seria preciso inicialmente criar uma imagem mental ou objeto-modelo ou modelo conceitual. Os objetos-modelo podem ser criados tanto por meio de uma observação crítica de fenômenos quanto por suposições acerca dos objetos reais (MOREIRA, *et al.*, 2021).

No campo da química, as habilidades espaciais são importantes na visualização dos conceitos abstratos como a estrutura atômica e molecular (MONTALBO, 2021). No entanto, a representação das estruturas e ligações químicas ficam restritas a um desenho em duas dimensões, quando de fato, constituem-se em estruturas inerentemente tridimensionais (FOMBONA-PASCUAL; FOMBONA; VICENTE, 2022). Os livros didáticos trazem a representação em duas dimensões para minimizar a dicotomia existente entre a representação em 2D e as estruturas em 3D. Deste modo, é comum que as aulas utilizem modelos físicos, como os kits moleculares de bola e bastão para demonstrar a tridimensionalidade envolvida nas reações químicas (ABDNEJAD, 2021).

A utilização de modelos representacionais se fundamenta em duas ideias principais: modelo como representação de algo pré-existente e modelo como uma representação simplificada, abstrata e idealizada da realidade. No entanto, é preciso compreender que a construção de um objeto-modelo (OM) só poderá ser considerada confiável se for construída a partir de um embasamento teórico e de uma compreensão macro do que está sendo representado por meio do OM (SILVA; CATELLI, 2019). Assim, precisa-se dar um passo atrás para compreender os pressupostos teóricos que embasam a compreensão ou não da química pelos alunos.

Johnstone divide a química em três componentes básicos: a química macroscópica, que é tangível e visível; a química submicroscópica, das moléculas e átomos e; a química representacional, dos símbolos, equações, estequiometria e matemática (JOHNSTONE, 1993). De acordo com Nascimento, Moreira e Pizzato (2021) para compreender a química é necessário transitar entre essas três dimensões. Dissociar ou compreender somente de maneira individualizada cada uma dessas três dimensões reduz a capacidade de estabelecer ligações limitando-se somente a uma região de estudo da química. Johnstone (1993) evidencia que para a compreensão da química é necessário deslizar de um vértice ao outro do triângulo. A Figura 1 apresenta o triângulo proposto por Johnstone (1993).

Figura 1 – Triângulo de Johnstone (1993).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022) com base em Johnstone (1993).

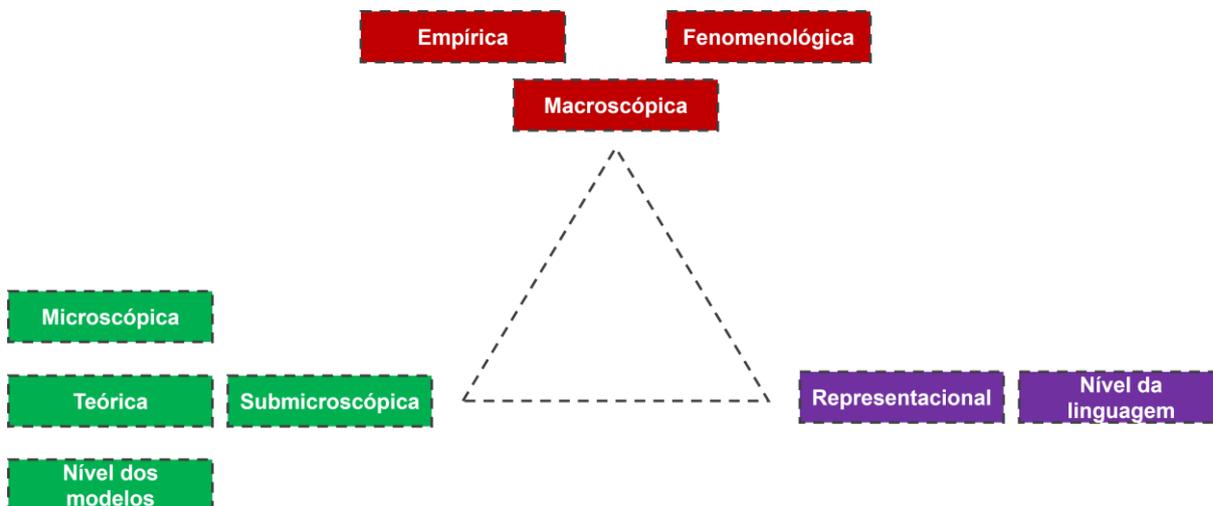
O nível macroscópico é aquele onde os fenômenos são experimentados, observados e descritos. O nível submicroscópico representa o nível em que os fenômenos podem ser explicados e por fim, ao representacional compete representar e comunicar os conceitos e ideias da química por meio de simbologias (TALANQUER, 2011).

No entanto, o autor também chama a atenção para o fato de que é comum que o aluno permaneça compreendendo mais de um determinado vértice do triângulo. Para ele, o ideal seria que os alunos operassem dentro do triângulo a partir de uma simbiose em que ele conseguisse deslizar-se de um vértice a outro sem dificuldades. Mas ele compreende também que para a maioria das pessoas o interior do triângulo é tão real quanto um buraco negro (JOHNSTONE, 1993). Ainda na visão de Johnstone (1993),

O conhecimento não pode ser passado intacto da cabeça do professor para a cabeça do aluno. Para aprender, o aluno tem que "desempacotar" o que lhe é ensinado e depois "reempacotar" de uma forma que se adeque ao seu conhecimento prévio e ao seu próprio estilo de aprendizagem. O que falta em tudo isto é um mecanismo de aprendizagem que nos permita compreender as limitações da aprendizagem e, mais importante, ajudar os alunos a contornarem os problemas. Tal mecanismo pode ser encontrado na teoria do processamento da informação que cresceu junto com o desenvolvimento do computador (JOHNSTONE, 1993, p. 703, tradução nossa).

A Figura 2 apresenta o triângulo proposto por Johnstone (1993) com as nomenclaturas que passou a adotar ao longo dos estudos de outros autores sobre os seus postulados.

Figura 2 – Triângulo de Johnstone (1993) e nomenclaturas possíveis a serem atribuídas à cada uma das dimensões.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022) com base em Johnstone (1993), Mortimer; Machado; Romanelli (2000), Talanquer (2011).

Assim, a compreensão da química estaria fundamentada no entendimento destes três níveis descritos na figura 2. Para tanto, reafirma-se que o ensino da química requer, por parte do aluno, uma boa capacidade de abstração para compreender a associação entre estes níveis. Apesar disso, verifica-se que a maior dificuldade enfrentada pelos alunos é justamente o processo de visualização de estruturas e processos químicos no nível das partículas (MAZZUCO, 2021).

A habilidade de visualização espacial se relaciona à habilidade que um indivíduo possui de buscar campos visuais e compreender visualmente a forma e a posição dos objetos. Além disso, também se constitui na habilidade de manipular mentalmente as representações destes objetos em diversas dimensões (RAHMAWATI; DIANHAR; ARIFIN, 2021).

No campo da química, a habilidade de visualização espacial é importante para a visualização de conceitos abstratos como estrutura atômica e molecular, modelo de repulsão de pares de elétrons na camada de valência (VSEPR³) e hibridização de orbitais moleculares, para citar alguns exemplos (MONTALBO, 2021).

Verifica-se em muitos casos que os alunos consideram a química como uma disciplina chata, maçante e pouco interessante. Essa afirmação pode ser relacionada ao fato de muitos destes alunos não possuem boa habilidade de visualização espacial. Assim, as representações e imagens contidas nos livros didáticos desempenham um

³ Do inglês *valence shell electron-pair repulsion*.

papel fundamental na facilitação da aprendizagem. Estas representações poderiam minimizar a dicotomia existente entre a imaginação e abstração e a real assimilação dos conceitos trabalhados. No entanto, alguns autores problematizam sobre a maneira como os livros didáticos podem descrever claramente as interações e transformações químicas possibilitando que os alunos desenvolvam modelos mentais coerentes (UPAHI; RAMNARAIN, 2019).

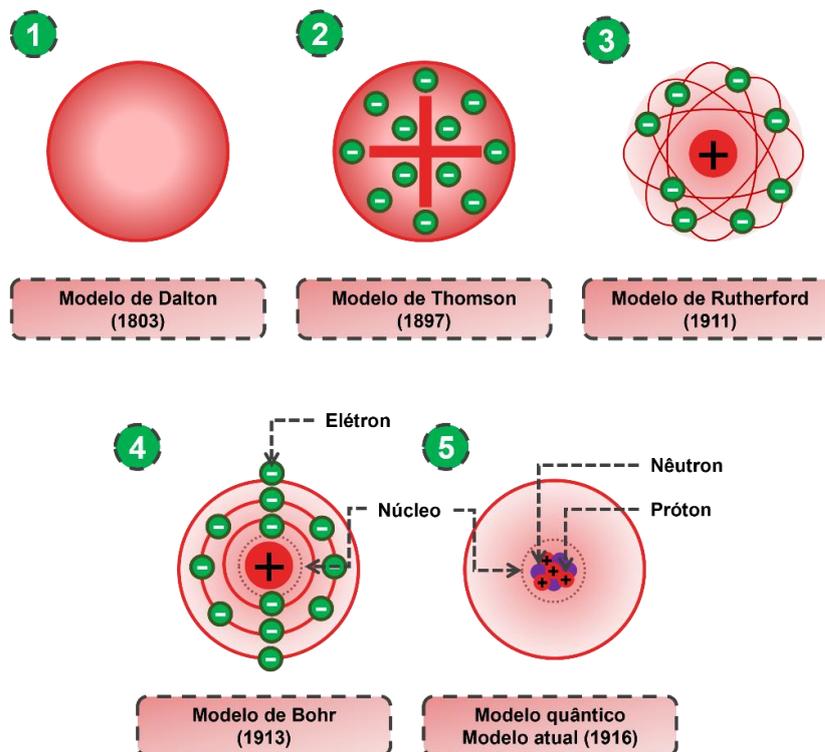
Os modelos teóricos têm a difícil missão de transformar um conceito abstrato em um modelo real. A premissa básica é que se consiga transmitir ao aluno uma construção de conhecimento de conceitos abstratos a partir de uma representação mais ou menos inteligível (MOREIRA, *et al.*, 2021).

Assim, para a química, a utilização de modelos teóricos a partir representações bidimensionais e/ou tridimensionais acabam por se tornar num importante recurso didático, justamente pelo seu caráter intuitivo de linguagem visual que se coaduna historicamente com a maneira que o homem consegue lidar com as explicações de fenômenos a sua volta. A partir do que se vê, é possível construir um OM que venha a representar a realidade (ou o mais próximo a ela) (SILVA, 2020).

Como exemplo, é possível analisar a perspectiva histórica da representação dos modelos atômicos ao longo da história. Para muitos alunos, aquela representação de imagem em duas dimensões do átomo na maioria das vezes recai como mero processo de memorização, associando a representação ao seu “criador”. Na verdade, o que se busca para a química, é que o aluno compreenda os conceitos básicos envolvidos em determinado estudo (como o do átomo, por exemplo). Assim, a compreensão do que compõe a matéria não deveria ocorrer por meio de memorização de conteúdo e conceitos, mas sim pelo aprofundamento dos conhecimentos que poderiam ser subjetivados em um modelo mental próprio de cada aluno. A Figura 3 traz uma representação dos modelos atômicos⁴.

⁴ A análise sobre a representação dos modelos atômicos ajuda a compreender a complexidade envolvida no processo de desenvolvimento de modelos representativos, sendo de extrema relevância para este estudo pois demonstra a importância destes modelos para a construção do conhecimento científico e tecnológico da sociedade atual.

Figura 3 – Modelos atômicos propostos por Dalton (1803), Thomson (1897), Rutherford (1911), Bohr (1913) e o modelo quântico (1916).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Em relação aos modelos atômicos⁵, a aluno ao folhear o seu livro didático comumente se depara com uma imagem mais ou menos parecida com a representação apresentada na figura 3. Assim, cabe ao professor por meio de teoria

⁵ O primeiro modelo foi proposto por Dalton em 1803 e sintetiza uma gama de estudos e revolução científica que nasceu fundamentalmente na filosofia com os estudos dos atomistas (Demócrito, Heráclito, Leucipo e Aristóteles). O modelo de Dalton (Modelo 1) é conhecido como o modelo da “bola de bilhar”, pois de acordo com seus postulados, os átomos são esféricos, maciços e indestrutíveis.

O segundo modelo, de Thomson, nasceu da revolução industrial e científica vivida no final do século XIX e início do século XX. Thomson tentou compreender como ocorria a distribuição dos elétrons no átomo. Assim, em 1897 ele apresentou seu modelo (Modelo 2) determinando que o átomo era formado de uma esfera com carga elétrica de massa positiva com cargas negativas incrustadas de modo que a carga elétrica total fosse nula. Seu modelo ficou conhecido como “pudim de passas”.

O modelo de Rutherford nasceu a partir dos seus estudos com radioatividade e de seus experimentos com o acelerador de partículas. Em 1911, ele propôs um modelo (Modelo 3) em que o átomo seria constituído por um núcleo central circundado por grandes espaços vazios onde os elétrons encontram-se distribuídos. Seu modelo ficou conhecido como “modelo nuclear” ou “modelo planetário”.

O quarto modelo, desenvolvido por Bohr, se baseou em estudos nos trabalhos desenvolvidos por Planck e Einstein sobre a absorção da energia eletromagnética. Assim, este modelo (Modelo 4) ficou descrito como tendo um núcleo central, pequeno e positivo que concentra toda massa do átomo e os elétrons concentram-se ao seu redor em movimentos circulares. Esse modelo também é conhecido como o Modelo Rutherford-Bohr.

Por fim, o modelo atual (Modelo 5), se fundamenta na mecânica quântica e foi apresentado inicialmente por Sommerfeld (1916). Mais tarde, Schrödinger vai determinar a partir de cálculos matemáticos as regiões no espaço onde haveria maior probabilidade de se encontrar um elétron. Este modelo é o mais aceito atualmente pois integra de forma concisa o plano cartesiano a estrutura do orbital, fornecendo números quânticos dos elétrons e suas cargas.

e com auxílio de outros materiais didáticos – quadro, desenhos simplificados – que podem incluir ou não o uso de TDICs, avançar sobre o conteúdo relacionando imagem mental à teoria envolvida na compreensão do conteúdo abordado.

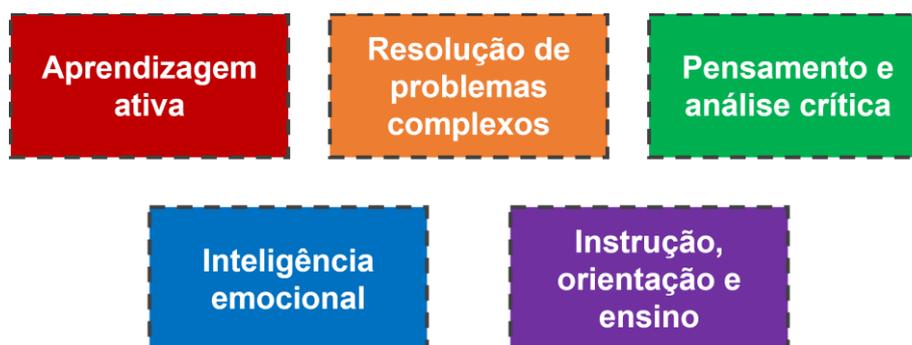
Colaborando com essa ideia, revisões sistemáticas de literatura têm demonstrado que o uso de outras tecnologias, como as digitais, tem permitido melhorar a visualização de estruturas no campo da química. Ao compreender as estruturas químicas, o aluno é capaz de criar modelos mentais. Os modelos mentais podem ser entendidos como uma construção que não pode ser observada, são representação cognitivas de cunho pessoal, onde o aluno cria imagens mentais.

A aprendizagem do aluno seria, portanto, diretamente influenciada pela didática adotada pelos professores. Os textos e as figuras estáticas são recursos pedagógicos utilizados pelos professores para facilitar a imaginação das interações entre os átomos, por exemplo, já que estas não podem ser vistas a olho nu (PEREIRA, *et al.*, 2020).

Para Silva (2021, p. 2), “a compreensão das representações visuais tem sido considerada essencial para o sucesso dos estudantes nas aulas de Química, seja na escola ou na universidade”. De acordo com Locatelli (2020, p. 3), “um dos maiores obstáculos no seu ensino (da química) está nos conteúdos abstratos que muitas vezes são de complexa compreensão e visualização por parte dos alunos”.

De acordo com alguns autores, para a compreensão de um novo conceito, são necessárias cinco habilidades: aprendizagem ativa e estratégia de aprendizagem; resolução de problemas complexos; pensamento e análise crítica; inteligência emocional e; instrução, orientação e ensino. Deste modo, a formação do professor deve se alicerçar na capacitação de um educador que seja criativo, tenha boa capacidade de resolução de problemas e seja confiante ao problematizar os conceitos que necessita repassar aos alunos (LATIPAH, 2021). A Figura 4 sintetiza essas habilidades.

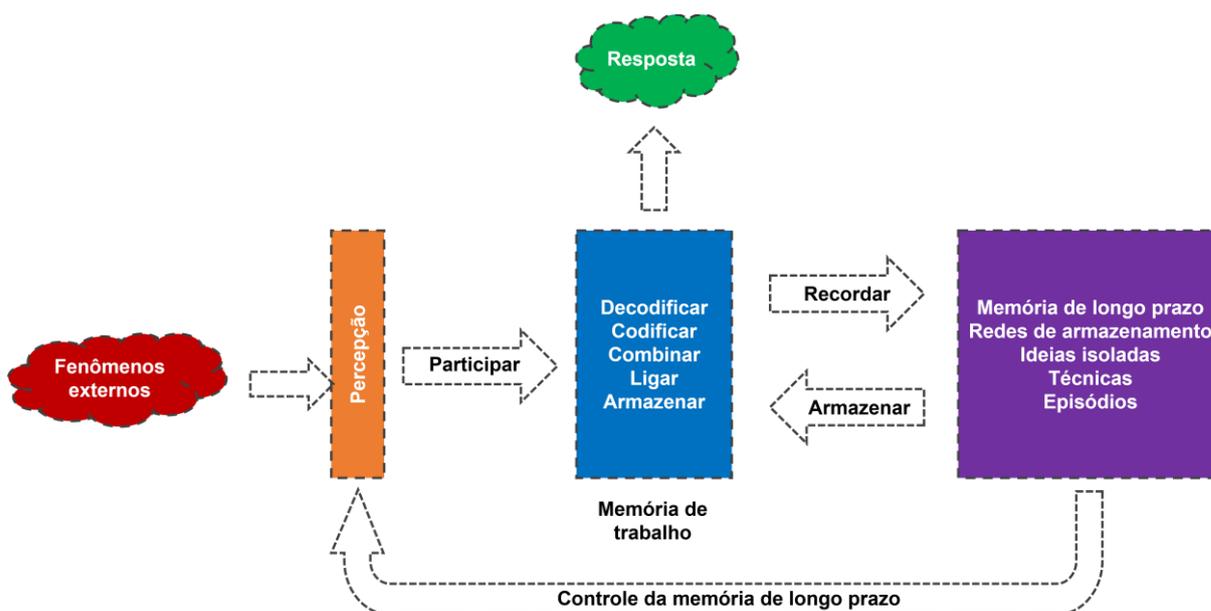
Figura 4 – Habilidades de aprendizagem necessárias à compreensão de um novo conceito



Fonte: Elaborado pelo autor (2022) com base em Latipah (2021).

Na mesma linha de raciocínio e retomando as considerações de Johnstone (1993), a Figura 5 mostra uma versão do modelo de aprendizagem no campo das ciências proposto por este autor.

Figura 5 – Modelo de aprendizagem proposto por Johnstone (1993)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022) com base em Johnstone (1993).

Para Johnstone (1993) existe um mecanismo de aprendizagem, onde inicialmente é preciso compreender as limitações de aprendizagem para então conseguir auxiliar os alunos em sua aprendizagem. Os fenômenos externos descritos na figura 5 representariam tudo aquilo que chama a atenção do cérebro do aluno. No entanto, somos condicionados e nos focar em dado conteúdo, para tal, utiliza-se do controle da memória de longo prazo. Deste modo, a percepção é aguçada impulsionando a decodificar, codificar, combinar, ligar e armazenar os fatos ou

situações. Ao se decidir por agir sobre a informação recebida, ter-se-á como produto uma resposta. O processo de armazenagem, e nesse caso, de aprendizagem, se daria a partir do ponto em que fosse possível se vincular as novas informações (ou estímulos) à memória de longo prazo. Na afirmação de Johnstone (1993) quanto mais associações forem realizadas, maior será a capacidade do cérebro recuperar outras informações criando respostas inovadoras e mais fundamentadas.

Para isso, educadores têm apontado para novas soluções e metodologias que facilitem o trabalho docente, para que a assimilação e a produção dos conteúdos abordados se tornem de mais fácil entendimento. Nesta ótica, emergem os estudos relativos à novas metodologias ativas de aprendizagem para o ensino da química.

2.1.1 Metodologias ativas de aprendizagem e a Aprendizagem Significativa (AS) em química

É inerente para as ciências naturais que sejam desenvolvidos materiais didáticos que venham contribuir para que os alunos possam compreender os conteúdos abordados além de promover sua motivação no sentido de estudar a ciência de maneira aprofundada.

Uma dessas soluções e que vem sendo muito defendida por diversos autores e profissionais da educação é a experimentação em laboratório com a demonstração por meio da prática dos conceitos muitas vezes entendidos como abstratos pela maioria dos alunos. Além da experimentação em laboratório, há que se lançar mão também dos recursos tecnológicos disponíveis. Tais recursos pedagógicos constituem-se em importantes consolidadores dos conceitos da química. No entanto, mesmo vivendo no seio de uma sociedade desenvolvida, cheia de recursos tecnológicos, a maioria das escolas está excluída dessas realidades, pelo fato de não possuírem, ou não utilizarem os laboratórios.

Os experimentos e as demonstrações podem ser conduzidos visando diferentes objetivos, como demonstrar fenômenos físicos e químicos, ilustrar conteúdos teóricos, ajudar em coletas de dados, testar hipóteses levantadas em sala de aula, desenvolver habilidades dos alunos, adquirir familiaridade com as ligações químicas, entre outros.

Esta metodologia de ensino coloca os alunos em situações em que eles realizam pequenas pesquisas, combinando conteúdos teóricos, procedimentos em

laboratórios e observação dos elementos químicos por meio da demonstração em softwares e programas específicos que visam apresentar de uma maneira mais lúdica conceitos abstratos para um melhor aprendizado. Esta abordagem os ajuda a desenvolver certas habilidades, tais como: a de investigar, a de manipular e a de comunicar.

Segundo Ferreira (2009):

Para que isso ocorra, é necessário conduzir essas aulas em laboratórios de maneira oposta as aulas tradicionais, pois o professor deve considerar a importância de colocar os seus alunos ao encontro de situações-problema adequados, onde proporciona a construção do seu próprio conhecimento, aliado a teoria aplicada em sala de aula.

Outra importante ponderação que deve ser feita é a de que, mesmo que o professor queira fazer uso de novas tecnologias, muitas vezes esbarra na falta de domínio de alguns recursos. Leite (2019, p. 327) diz que “os conhecimentos desenvolvidos durante a formação inicial (dos professores) são, inúmeras vezes, colocados em xeque quando o professor se vê atuando em uma sala de aula, frente a situações que ele não vivenciou”.

No entanto, é fundamental que se considere a necessidade de envolvimento dos alunos com o problema levantado, o experimento proposto, e com sua contextualização, onde aponta a investigação a partir de fatos do cotidiano, sendo essencial no processo de evolução conceitual dos alunos. Alguns estudiosos se referem à atividade em laboratório e a demonstração prática como uma abordagem investigativa, implicando-se em outros aspectos o planejamento de investigação, uso de abordagens experimentais para coleta de dados, interpretação e análise, além de comunicação de resultados.

Outro pensamento importante de Ferreira (2009) diz que, “tal enfoque propicia ao aluno se libertar da passividade de serem meros executores de instruções, pois busca relacionar, decidir, planejar, propor, discutir, relatar, entre outros, ao contrário do que ocorre na abordagem tradicional em sala de aula”. Essa abordagem faz com que o aluno tenha uma autonomia em sala, que comecem a pensar por si próprios, que busquem melhores formas para adquirir os conhecimentos necessários.

Ferreira (2009) ainda complementa,

[...] que o processo no desenvolvimento dos alunos, a autonomia e outras habilidades desenvolvidas por meio dessas atividades investigativas não são imediatas. E salienta que as primeiras atividades devem ser simples e realizadas em pequenos grupos e que, com o passar do tempo, deve-se aumentar o nível de investigação dos problemas.

Pois esse aluno vem desde o ensino fundamental com um pensamento de uma abordagem tradicional, levando-os a sempre esperarem que os professores escolham os conteúdos e as formas de ensinamentos, mesmo que gerem algumas dificuldades na aprendizagem. Para isso, Ferreira (2009) menciona:

A importância que nenhuma investigação parte do zero, ou seja, necessitam de conhecimentos que orientem a observação, e esse conhecimento é adquirido em sala de aula. Pois em uma proposta de atividade investigativa, se faz necessário à explicação dos conhecimentos prévios disponíveis sobre a atividade, sem os quais se torna impossível a sua realização.

Além disso, se as atividades experimentais forem trabalhadas com este tipo de abordagem, é possível criar situações que proporcionam maior motivação nos alunos (LEWIS; LOMASCOLO, 1998).

A situação de formular hipóteses, preparar experiências, realizá-las, recolher dados, analisar resultados, quer dizer, encarar trabalhos de laboratórios como 'projetos de investigação', favorece fortemente a motivação dos estudantes, fazendo-os adquirir atitudes, tais como a curiosidade, desejo de experimentar, acostumar-se a duvidar de certas informações e a confrontar resultados (LEWIS; LOMASCOLO, 1998, p.48).

Entretanto, uma ação inovadora muitas vezes causa certa resistência por parte de alguns professores que estão acostumados apenas com a aula tradicional em sala de aula. Pois observa-se que a maioria destes profissionais de química ministra suas aulas se preocupando às vezes apenas com a didática deixando de usar metodologias adequadas. Ainda impera, em alguns casos, a visão simplista de repasse de conteúdos, já que estes professores se preocupam apenas em cumprir a sequência do livro didático, deixando de usar textos complementares ou novas formas de ensino, classificando-os como perda de tempo, pois preferem continuar na mesma rotina.

Mesmo vivendo em sociedade desenvolvida, cheia de recursos tecnológicos, a maioria das escolas está excluída dessas realidades, pelo fato de não possuírem, ou não utilizarem os laboratórios, nos quais deveriam ser realizadas aulas experimentais, e por muitas vezes deixam de usar também bibliotecas, recursos de multimídias e

métodos interativos de aprendizagem, estes considerados de fundamental importância no entendimento do aluno sobre o assunto abordado em sala de aula.

Essa problemática poderia ser mais bem resolvida com a realização de cursos de formação continuada de professores que objetivem capacitar os professores para a utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). Outra reflexão apontada por Leite (2019, p. 327) diz que “mesmo quando são oferecidas capacitações aos professores, essas capacitações se apresentam distantes das práticas pedagógicas dos profissionais e de suas condições de trabalho”. Leite (2019) diz ainda que,

as TIC evoluem com muita rapidez. A todo instante surgem novos processos e produtos diferenciados e sofisticados: telefones celulares, softwares, vídeos, computador multimídia, Internet, televisão interativa, videogames etc. Para que as TIC possam trazer alterações no processo educativo, no entanto, elas precisam ser compreendidas e incorporadas pedagogicamente (LEITE, 2019, p. 327-328).

Sendo assim, a incorporação das TICs em sala de aula é um processo gradativo, que deve ser sistematizado e deve fundamentalmente passar por um processo de avaliação constante, de modo a entender o que funciona e o que precisa ser reajustado ou mais bem elaborado.

Sabemos também que os estudantes muitas vezes sabem utilizar determinada tecnologia, mas ainda não compreendem a fundo quais recursos adicionais podem explorar desta tecnologia. Leite (2019) diz que,

A mera substituição de uma tecnologia (lousa, o quadro verde, a televisão, o vídeo etc.) por outras (computador, leitores digitais, *smartphone*, entre outros em desenvolvimento) não acarretará uma aprendizagem eficiente, a utilização desses recursos pode cooperar para o processo de ensino e aprendizagem, contudo, não serão elas causadoras de uma “nova” forma de aprender (LEITE, 2019, p. 330).

Assim, o uso do *smartphone* não deveria se limitar a um instrumento de pesquisa, como se fosse um substituto de um livro didático, mas sim, uma tecnologia adicional para facilitar o acesso à informação, mas sobretudo quando se fala no ensino da química, para ampliar a visão de alguns conceitos que muitas vezes são abstratos aos alunos.

Conforme já foi problematizado, o uso de uma única metodologia de ensino não consegue prender a atenção dos estudantes e motivá-los a entender determinados assuntos curriculares, principalmente os correspondentes a disciplina de química.

Somado a esse fato, inúmeros são os exemplos de alunos que relatam que não conseguem compreender a disciplina por não conseguirem visualizar na prática os conceitos apresentados.

Essas situações desencadeiam um baixo nível de interesse dos estudantes para a disciplina e aliado a isso, há ainda uma deficiência docente, seja por falta de recursos didáticos, tecnológicos ou de espaço físico nas escolas, e até mesmo por desconhecimento por parte dos professores de metodologias ativas de aprendizagem que venham a auxiliar no ensino. Como resultado, o processo de apreensão e entendimento da química acaba sendo dificultado ainda mais.

Nesse sentido, destaca-se o trabalho desenvolvido por Ausubel (1968) que trata sobre a Aprendizagem Significativa (AS). Para este autor, “quanto mais se sabe, mais se aprende”.

A ideia central de Ausubel é de que é necessário primeiro compreender o que o aluno já sabe para então problematizar e lançar novos conceitos. Além disso, Ausubel também se preocupava com a ideia de um “modo mecânico” de ensinar, devendo, para ele, a escola tornar-se mais atrativa para o aluno. Para Giffoni, Barroso e Sampaio (2020, p. 7) “a aprendizagem mecânica é aquela ligada a memorização, a aprendizagem onde o indivíduo memoriza o conceito sem fazer nenhuma relação com sua vivência, experiência ou mesmo outros conceitos outrora aprendidos”. Tal ideia, reitera o que Johnstone (1993) já problematizava em escritos anteriores.

Moreira (2006) analisa a obra de Ausubel exemplificando o conceito de aprendizagem significativa,

Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito subsunçor, existente na estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação se ancora em conceitos ou proposições relevantes, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos (MOREIRA, 2006).

Guimarães (2009) ao falar de aprendizagem significativa, reitera a visão de Ausubel ao dizer que,

Primeiro, para ensinar significativamente, é necessário conhecer o que o aluno já sabe, embora o saber pertença à estrutura cognitiva do sujeito e seja de natureza idiossincrática. Isso significa que não é um processo simples avaliar o que o sujeito sabe para em seguida agir de acordo. No entanto, é possível encontrar vestígios dos conhecimentos existentes na estrutura cognitiva do sujeito que aprende (GUIMARÃES, 2009, p. 199).

Seguindo essa lógica, Ausubel problematiza que cabe ao professor mediar o conhecimento criando momentos que visem favorecer a compreensão dos conceitos abordados. A partir disso, para transpor a barreira das aulas convencionais, seria, pois, necessário a incorporação de outras tecnologias e outros recursos didáticos para motivar mais os estudantes a compreender os conceitos a serem estudados. De acordo com os autores Giffoni *et. al.* (2020),

A compreensão sobre os usos de novas tecnologias é de essencial importância para o desenvolvimento progressivo de saberes. A inovação tecnológica é um rico manancial de fórmulas e inventos capazes de enormes mudanças na compreensão acerca da ciência como força transformadora (GIFFONI *et. al.*, 2020, p. 3).

Corroborando com esta afirmação, Leite (2018) nos diz que,

[...] as tecnologias estão para serem incorporadas ao processo de ensino e aprendizagem e não como substitutos a outros recursos já existentes (quadro, livro, laboratórios, vídeos etc.) e sim como um recurso que nos permita adicionar novos formatos à informação a qual desejamos que seja convertida em conhecimento por parte do aluno (LEITE, 2018, p. 10).

Ambas as citações reafirmam a importância do uso de tecnologias no processo de ensino e aprendizagem, sobretudo da química. Entretanto, uma ação inovadora muitas vezes causa certa resistência por parte de alguns professores que estão acostumados e treinados apenas para uma metodologia de ensino. Observa-se que alguns docentes de química ministram suas aulas utilizando somente uma metodologia de ensino deixando de usar e experienciar novas metodologias ou novas tecnologias. Ainda prevalece, em alguns casos, a visão simplista de repasse de conteúdo, já que estes professores se preocupam apenas em cumprir a sequência do livro didático.

A educação brasileira passou por diversas transformações nos últimos 3 anos em relação às metodologias de ensino adotadas já que foi necessário inserir as aulas remotas em meio ao cenário caótico vivenciado pela pandemia da COVID-19. Esse cenário impulsionou um melhor aparelhamento tecnológico da educação como um

todo no sentido de transpor as barreiras do modelo presencial para o novo formato de aulas à distância. Assim, diante desta perspectiva tornou-se inerente a todos os professores melhorar a sua compreensão dos recursos tecnológicos. Professores e alunos tiveram que dominar, de uma hora para outra, novas tecnologias além de investir em um aparelhamento maior em relação aos recursos tecnológicos que dispunham em seus domicílios como computadores, *tablets*, *smartphones*, dentre outros.

A pesquisa divulgada pelo IBGE em 2018 referente à Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD contínua) revelou, na contramão do que se esperava, que houve uma diminuição no número de domicílios em que havia um microcomputador. Em 2017, o percentual levantado representava 43,4% (30 454) do total dos domicílios visitados, já em 2018 esse percentual caiu para 41,7% (29 911). O *tablet* é muito menos comum nos domicílios do que o microcomputador. Além do acesso aos equipamentos, a pesquisa verificou qual o percentual de domicílios com acesso à internet. Segundo a pesquisa, 79,1% dos domicílios brasileiros têm acesso à internet, representando um aumento de quase 10% em relação à 2016, por exemplo (IBGE 2018)

Esses dados se justificam porque o acesso à internet pode ser realizado por meio de dispositivos móveis como os *smartphones* já que 93,2% dos domicílios dispõem de um telefone móvel (IBGE, 2018). Ao analisar estes dados percebe-se que há um maior acesso por parte dos estudantes a essas tecnologias principalmente em relação aos *smartphones*. Deste modo, pressupõe-se que estas tecnologias poderiam ser melhor utilizadas dentro da rotina escolar. As Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) tem um grande potencial pedagógico já que apresentam vários recursos que lhes são próprios e característicos para melhorar o desenvolvimento de algumas capacidades cognitivas dos estudantes (NASCIMENTO, 2021).

O número de estudos que envolve as TDICs, sobretudo para ensino das ciências naturais, tem aumentado exponencialmente nos últimos anos e vão ao encontro da necessidade de inovação e renovação para educação dentro desse contexto contemporâneo (GRANDO; AIRES; CLEOPHAS, 2020).

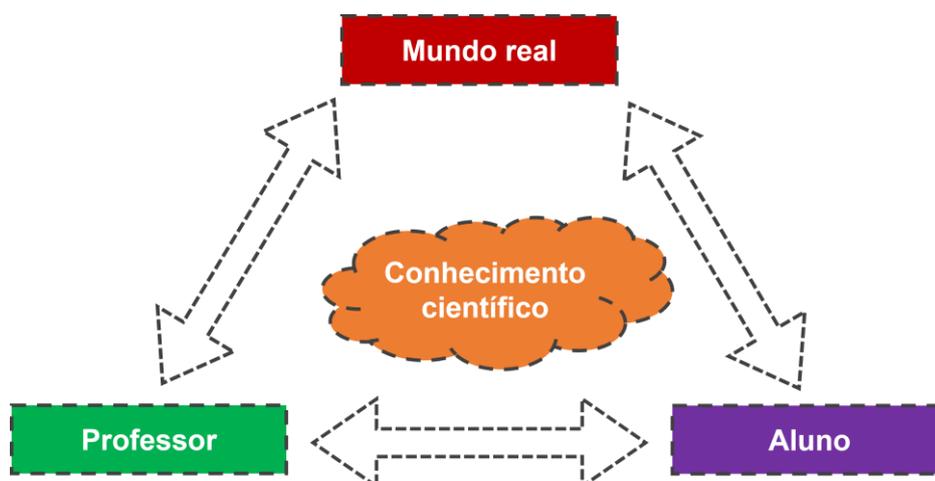
2.1.2 Sequência Didática

Ao estudar o conceito de Sequência Didática (SD), surgiram outros conceitos que por vezes apareceram como sinônimos ao termo SD como: sequência de ensino aprendizagem, unidade didática, plano de aula, plano de ensino. No entanto, inferir que tais conceitos são sinônimos é uma maneira simplista de analisar que descaracteriza todas as nuances existentes em cada um dos termos.

A SD se relaciona a cinco ações principais: análise científica, análise didática, objetivos, estratégias didáticas e avaliação. Já o desenvolvimento das sequências de ensino aprendizagem envolve integração do conteúdo didático com conteúdo científico, abrangendo dimensões práticas, sociais e técnicas. As sequências de ensino aprendizagem são constituídas por atividades que são sequenciadas e estão intimamente relacionadas a um conteúdo curricular que é definido por objetivos de ensino a partir de um contexto didático inspirado na investigação educativa e na experiência do docente, cujo objetivo final pretende otimizar o processo de ensino aprendizagem.

De acordo com Méheut (2005) a SD é um conjunto de atividades que se interligam para possibilitar a aprendizagem do conhecimento científico pelos alunos. Compõem-se basicamente de quatro elementos: professor, aluno, mundo real e conhecimento científico. A Figura 6 relaciona estes elementos.

Figura 6 – Elementos componentes de uma Sequência Didática (SD) de acordo com Méheut (2005).



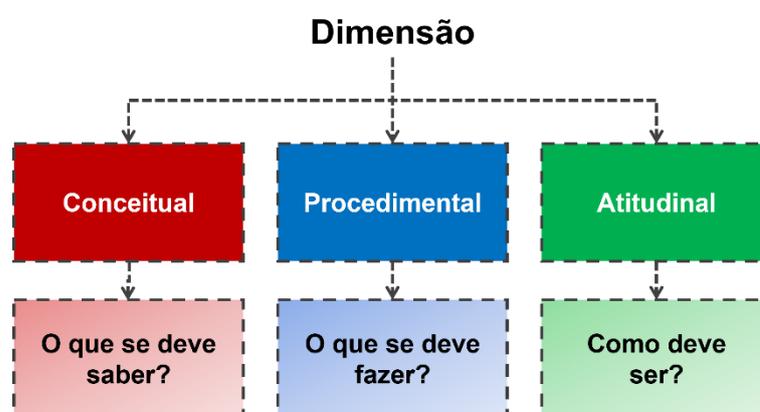
Fonte: Elaborado pelo autor (2023) com base em Méheut (2005).

A articulação entre estes quatro componentes resulta em duas dimensões:

- Epistêmica: a relação entre o mundo material e o conhecimento científico;

- Pedagógica: o papel do professor, do aluno e suas interações. Amparado e guiado por essa ótica a SD se baseia fundamentalmente na interação entre professor e aluno ao mundo real, desenvolvendo o conhecimento científico. As atividades demandam um *continuum* ou uma sequência lógica, de maneira que a ligação entre as partes permita ao aluno compreender os conceitos escolares. Além disso, os conteúdos devem explicitar as intenções educativas focando-se em três dimensões: conceitual, procedimental e atitudinal (LEITE, 2020). A Figura 7 sintetiza estas três dimensões.

Figura 7 – Dimensões de uma Sequência Didática (SD) de acordo com Méheut (2005)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023) com base em Méheut (2005).

Por meio dessa visão, propor uma SD demanda boa preparação e planejamento, justamente porque é preciso conhecer os pormenores envolvidos no processo como um todo, que alia aspectos políticos, sociais, econômicos e éticos em que os conteúdos estão envolvidos (LEITE, 2020).

A formação de docentes requer uma preparação substancial, uma vez que implica na necessidade de compreender minuciosamente os intricados detalhes dos processos de ensino e aprendizagem, além de uma abrangente compreensão dos aspectos políticos, sociais, econômicos e éticos nos quais os conteúdos estão inseridos. Essas dimensões amplas e fundamentais no desenvolvimento de uma SD também são enfatizadas por Méheut e Psillos (2004), que destacam a integração entre conteúdo didático e teorias científicas, abrangendo diversas dimensões práticas, sociais e técnicas.

No que tange aos propósitos para os quais as SDs são desenvolvidas, Almouloud e Coutinho (2008) salientam que essa abordagem é extensamente empregada como um meio para coletar dados em pesquisas educacionais, com o

intuito de promover condições favoráveis ao processo de ensino e aprendizagem. Zabala (1998) também enfatiza que as SDs são amplamente utilizadas como instrumentos para estreitar a relação entre a teoria veiculada nos cursos de formação de professores e as práticas em sala de aula. Um dos objetivos centrais é introduzir uma variedade de intervenções que contribuam para a melhoria da prática docente em sala de aula. Isso é possível somente quando há um profundo entendimento das variáveis que influenciam os processos de ensino e aprendizagem.

É evidente que as SDs têm uma função tanto como ferramenta de coleta de dados quanto como instrumento de ensino. No contexto específico do ensino de Química, Fernandes e Campos (2017) destacam que as demandas e tendências educacionais atuais preconizam uma abordagem mais dinâmica e contextualizada, favorecendo a aprendizagem por meio de SDs. Isso é especialmente relevante, uma vez que o ensino de Química é intrinsecamente experimental e descritivo. Nesse contexto, é imperativo que os professores reconheçam a importância de planejar atividades de ensino que sejam envolventes e que permitam aos alunos conectarem o conhecimento científico às suas experiências cotidianas.

A SD adotada para este trabalho nasceu a partir do estudo de diversos trabalhos sobre o tema e a partir das impressões pessoais do autor em relação ao conteúdo de ligações químicas durante sua prática docente ao longo dos últimos dez anos trabalhando diariamente com alunos da primeira série do ensino médio. A SD proposta considerou os conhecimentos, habilidades e atitudes necessárias e inerentes aos estudantes na compreensão dos conceitos que necessitariam ser repassados.

É fundamental que a SD seja pensada de modo que tente minimizar a complexidade do ensino dos conceitos envolvidos pois necessitam de uma boa capacidade de abstração associada a uma boa facilidade de visualização espacial. Soma-se a esta gama de complexidades, outras dificuldades inerentes ao ensino dos tópicos das ligações químicas.

Para aprimorar a organização SD, optou-se por estruturar os conteúdos relacionados às ligações químicas através de um conjunto de atividades. Essas atividades foram divididas em etapas cuidadosamente planejadas e ordenadas, permitindo ao professor realizar ajustes em sala de aula e oferecer alternativas aos alunos, considerando as diferentes fases do processo de ensino.

Pozo e Crespo (2009) apresentam uma dinâmica de ensino baseada em nove etapas onde o professor dirige e controla a sessão didática, levando o aluno, passo a passo à construção do seu conhecimento. Para estes autores, apesar de cada professor desenvolver, de modo mais ou menos intuitivo, suas próprias rotinas didáticas, o ensino de ciências envolve uma sequência de atividades, conforme evidenciado pela Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de sequência de atividades de uma rotina didática proposto por Pozo e Crespo (2009).

1	Atenção	Anunciar à turma que é hora de começar
2	Expectativas	Informar a turma sobre os objetivos da aula e sobre o rendimento esperado
3	Recuperação	Pedir à turma que lembre as regras e os conceitos já estudados previamente
4	Percepção seletiva	Apresentar exemplos do novo conceito ou regra
5	Codificação semântica	Oferecer chaves para lembrar a informação
6	Recuperação e resposta	Pedir aos alunos que apliquem o conceito ou a regra a novos exemplos
7	Reforço	Confirmar a exatidão das respostas dos estudantes
8	Chave para a recuperação	Aplicar avaliações breves sobre o material novo
9	Generalização	Oferecer revisões especiais

Fonte: Elaborado pelo autor (2023) com base em Pozo e Crespo (2009).

Esse quadro resumo serviu como base para a elaboração da SD justamente porque propõe uma sequência de eventos em que sistematicamente convida o aluno a ser partícipe ativo da aula, rememorando conhecimentos e conceitos já trabalhados além de propor alternativas de como introduzir um novo conceito à turma.

Adicionalmente, ao desenvolver a proposta da SD, levou-se em consideração a possibilidade de os alunos trabalharem em equipes. Isso possibilita o cultivo de dinâmicas coletivas, nas quais os alunos podem aprimorar suas habilidades comportamentais e atitudinais, contribuindo para a melhoria das relações interpessoais por meio do conceito de cooperação mútua. Essa abordagem também promove um ambiente propício para a troca de ideias, escuta ativa e reflexão conjunta, orientando a coordenação das ações futuras.

Além das atividades em grupo, é igualmente essencial que o aluno seja capaz de direcionar suas próprias ações de maneira individualizada. Isso é fundamental para que ele possa criar representações mentais dos conceitos químicos, transcendendo as barreiras da abstração.

2.2 A REALIDADE AUMENTADA PARA O ENSINO DA QUÍMICA

A educação tornou-se cercada pela tecnologia e os resultados têm demonstrado um efeito promissor na maneira de ensinar e aprender nas mais diversas áreas (HANAFI; ELAACHAK; BOUHORMA, 2019).

O aumento da diversidade do uso de tecnologias pelos alunos dentro e fora do ambiente escolar e as oportunidades de estratégias de ensino informal impulsionam para uma aprendizagem mais voltada ao uso de tecnologias dentro da própria escola (FERREIRA; PEREIRA, 2020). Alguns estudos relatam que o aprendizado aprimorado a partir do uso das tecnologias digitais pode ser utilizado para abordar problemas educacionais nos mais diversos campos multidisciplinares (ABDNEJAD, 2021).

Diversas são as possibilidades de ensino da disciplina de química que visem a utilização de uma metodologia ativa de aprendizado. No entanto, muitas delas se concentram na utilização de laboratórios físicos para demonstração efetiva de reações químicas, por exemplo. Dada a deficiência de recursos didáticos e físicos, - situação recorrente na maioria das escolas públicas do nosso país - o uso de softwares e aplicativos móveis surge como uma proposta possível de utilização, uma vez que demanda poucos recursos tecnológicos.

Estes *softwares* e aplicativos tendem a contribuir para a construção do conhecimento utilizando métodos demonstrativos e simulações interativas permitindo a visualização e o contato com um material antes demonstrado somente em figuras

planas. Por trazer o micro para o macro, favorecem ao usuário uma visualização simultânea através de um dispositivo tecnológico de plataformas compatíveis.

De acordo com a publicação da Elmqaddem (2019, p. 234, *tradução nossa*), o termo Augmented Reality (AR) foi cunhado pelos autores Thomas Caudell e David Mizell em 1990 e foi adotado inicialmente para descrever como funcionavam os monitores que eram usados na cabeça dos eletricitistas que montavam os chicotes elétricos na empresa de aviação Boeing.

O termo *Augmented Reality* (AR) foi introduzido pelo autor Rosenberg no início da década de 1990. Esta ferramenta foi aplicada em treinamentos dentro de laboratórios que trabalharam efetivamente com instrumentos virtuais a partir da primeira década do século 21. As revisões de literatura que descrevem como RA funciona descrevem também que a velocidade de evolução tecnológica se torna rapidamente desatualizada essa metodologia necessitando ser sistematicamente revista e revisada (FOMBONA-PASCUAL; FOMBONA; VICENTE, 2022).

De acordo com Mazzuco *et. al* (2021, p. 402),

A realidade aumentada (RA) é uma tecnologia que consiste na sobreposição contínua de imagens virtuais geradas por computador no mundo real ampliando assim o acesso à informação gerando novas oportunidades de interação (MAZZUCO *et. al*, 2021, p. 402).

A RA é uma tecnologia de baixo custo que pode fornecer aos alunos conteúdos mais atraentes do que apenas papel, assim, os alunos se sentem confortáveis em usar RA para conteúdo prático e teórico (MONTALBO, 2021). A RA é uma técnica que sobrepõe os objetos virtuais às imagens reais. Essa metodologia agrega um valor especial para os estudantes da química já que facilita a visualização dos materiais que não são intuitivamente compreensíveis. A RA facilita grandemente na transposição da barreira do abstrato para a criação de imagens mentais por parte dos alunos (ABDNEJAD, 2021).

A RA é capaz de renderizar tanto objetos virtuais em duas dimensões (2D) quanto tridimensionais (3D). Essa inovação viabiliza a interação simultânea entre elementos reais e virtuais. A RA se apresenta como o meio de amalgamar e conjugar informações suplementares com objetos tangíveis do ambiente concreto. No entanto, é crucial não confundir a RA com a Realidade Virtual (RV) (LEITE, 2019).

A RV é uma forma avançada de interface computacional que abarca a simulação em tempo real e a interatividade por meio de canais sensoriais múltiplos. A

RV proporciona a imersão completa do indivíduo em ambientes virtuais, caracterizados por um realismo acentuado e uma sensação de presença marcante. A essência subjacente à RV sempre foi conduzir o usuário a um estado onde a percepção do mundo real se dissolvesse, permitindo-o sentir-se plenamente imerso no contexto virtual. Esse princípio perdura até os dias atuais (TORI; HOUNSELL; KIRNER 2018). Para visualização da RV, geralmente são utilizados óculos específicos. Estes óculos enviam imagens e sons em 3 dimensões, dando a sensação de que o outro usuário foi transportado para outro universo, o metaverso⁶.

Conforme delineado por Kye et al. (2021), é viável categorizar e distinguir os variados tipos de metaversos da seguinte forma: Augmented Reality (realidade aumentada), que se traduz na projeção de dados do ambiente real por meio de dispositivos (como smartphones); Mirror Worlds (mundos espelhados), que estabelecem um cenário capaz de oferecer informações ou atividades inéditas aos utilizadores, reproduzindo uma réplica virtual do mundo real; Virtual Worlds (mundos virtuais), que constituem espaços virtuais onde os indivíduos deslocam seus avatares mediante gráficos tridimensionais; e Lifelogging (registro de vida), que representa um ambiente virtual no qual dados e ações ocorridos na realidade são transferidos integralmente para o mundo virtual. A Figura 9 apresenta os óculos de realidade virtual utilizados para vivenciar a experiência dentro da tecnologia da RV.

Há uma transição entre ambiente real e ambiente virtual que precisa ser bem delimitada. Enquanto a RV consegue imergir o usuário dentro um ambiente inteiramente virtual, a RA interage entre estes dois mundos (virtual e real).

⁶ A expressão "metaverso" teve sua origem por volta de 1992, no romance intitulado "Snow Crash", escrito por Neal Stephenson. Nessa narrativa, o protagonista adentra um universo virtual online por meio de um avatar, buscando escapar dos dilemas de sua existência real. O termo em si é uma fusão entre "meta", que denota o virtual, e "verso", aludindo ao conceito de mundo ou universo. No âmbito particular da educação, os metaversos carregam um potencial inovativo significativo, ao suprir as exigências de aprendizado individuais. Eles facultam o acesso a um ambiente virtual expandido em relação ao mundo concreto, independentemente do lugar ou do instante. Os metaversos se revelam como um território fértil para inovação, criando uma esfera adicional de comunicação, possibilitando a liberdade na construção e partilha do conhecimento, além de proporcionar experiências inéditas de imersão e engajamento no processo educativo (DE CLASSE; DE CASTRO; DE OLIVEIRA, 2023).

Figura 9 – Óculos de Realidade Virtual (RV).



Fonte: Imagem gerada por inteligência artificial, aplicativo Mídia Mágica, 2023.

Milgram e colaboradores (1995) apresentam uma importante contribuição,

A visão comum de um ambiente de RV é aquela em que o observador participante está totalmente imerso em um mundo completamente sintético, que pode ou não imitar as propriedades de um ambiente do mundo real, existente ou fictício, mas que também pode exceder os limites da realidade física, criando um mundo no qual as leis físicas que governam a gravidade, o tempo e as propriedades materiais não são mais válidas. Em contraste, um ambiente estritamente real deve claramente ser restringido pelas leis da física. Contudo, em vez de considerar os dois conceitos simplesmente como antíteses, é mais conveniente vê-los como estando em extremos opostos de um continuum ao qual nos referimos como o continuum Realidade-Virtualidade (RV) (MILGRAM, et. al, 1995, p. 283, tradução nossa).

Deste modo, ao invés dos autores considerarem ambas as realidades como antagônicas, preferem descrevê-las como partícipes de um processo que vai do ambiente real ao ambiente virtual tendo como meio estas tecnologias, RA e RV. A Figura 10 representa de maneira simplificada esta teoria.

Figura 10 – Continuum Realidade-Virtualidade.



Fonte: Adaptado de Milgram et. al, 1195.

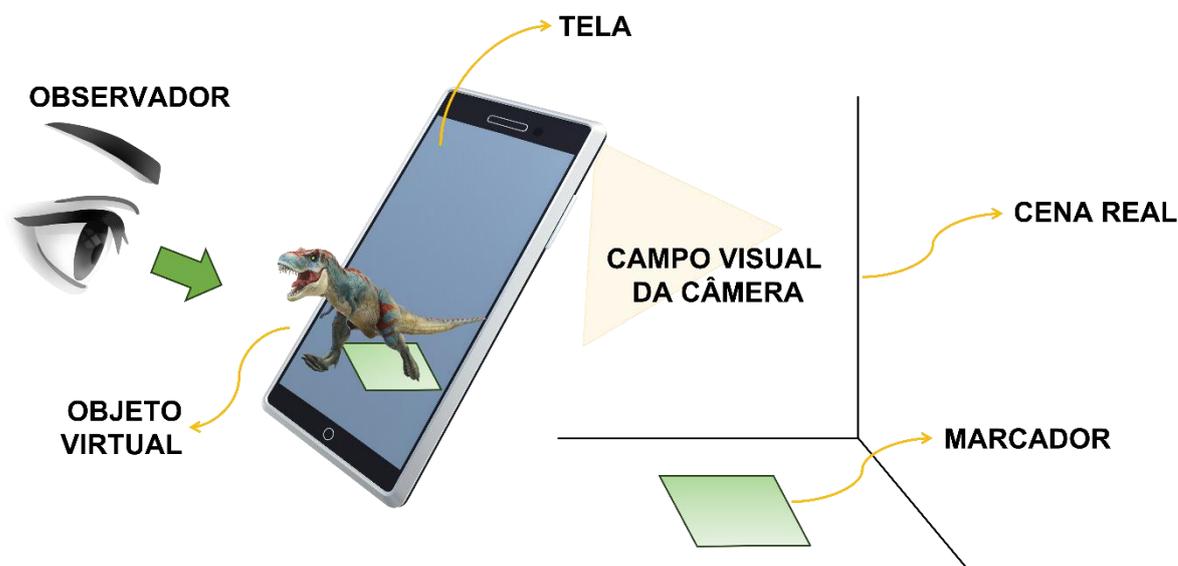
A representação visual retratada na figura apresenta o ambiente virtual localizado no lado direito, enquanto o que denominamos de mundo "real" está situado no polo esquerdo. O ambiente à esquerda compreende exclusivamente objetos reais, englobando aquilo que é perceptível ao observar uma cena do mundo concreto (MILGRAM et al., 1994). A ambiente à direita é constituído por objetos virtuais, gerados através de simulações gráficas computacionais convencionais. Nesse contexto, a RA é obtida quando o usuário, estando imerso no ambiente real, interage com elementos virtuais que foram previamente registrados em três dimensões, alinhando-se ao espaço físico real (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018). Por sua vez, a Virtualidade Aumentada se manifesta quando o mundo virtual é enriquecido com representações de elementos do mundo real, capturados em tempo real, habilitando interações no mundo virtual por meio de dispositivos multissensoriais. Por meio dessa perspectiva, surge um ambiente genérico de Realidade Mista (RM), que pode ser definido como aquele no qual objetos provenientes tanto do mundo real quanto do virtual são apresentados simultaneamente em uma única exibição, representando um ponto intermediário entre os extremos do continuum da Realidade Virtual (RV). (MILGRAM et al., 1994).

Em específico, no contexto da Realidade Aumentada (RA), a realidade percebida é enriquecida por estratos de informações que conferem uma capacidade de compreensão, muitas vezes difícil ou até inatingível por outros meios. No entanto, é importante salientar que a RA não tem a pretensão de substituir o mundo real pelo virtual, mas sim aprimorar a realidade perceptível pelo utilizador, acrescentando-lhe informações virtuais que se sobrepõem às reais (LEITE, 2018).

A visualização da RA requer a presença de um marcador, uma imagem de ativação que desempenha o papel de gatilho para a localização do objeto virtual, situado no campo de visão da câmera. O processo de renderizar o objeto tridimensional (3D) acontece mediante a utilização de um aplicativo instalado no smartphone. Esse aplicativo, lê a informação codificada constante no marcador, e gera uma imagem tridimensional que é percebida pelo observador.

A Figura 11 apresenta uma abordagem ilustrativa sobre o funcionamento da RA.

Figura 11 – Funcionamento da Realidade Aumentada em um smartphone.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Ainda em relação aos marcadores, trata-se de símbolos ou representações visuais que foram previamente registrados no sistema da RA (aplicativo) e que, quando impressos e posicionados diante de uma câmera, viabilizarão a interação dessa câmera com o software designado para exibir imagens e vídeos em 3D e/ou 2D ao usuário.

A RA já é uma tecnologia muito difundida entre os jovens, no entanto, é provável que eles não tenham essa percepção. Por exemplo, o jogo Pokémon GO, desenvolvido pelas empresas Niantic, Nintendo e *The Pokémon Company*, lançado em julho de 2016, tornou-se um fenômeno global e um dos aplicativos mais usados e mais baixados no ano de seu lançamento. A dinâmica do jogo consiste em o jogador percorrer o mundo real à caça de animais, os Pokémon. Enquanto se engaja com o jogo Pokémon GO, o usuário estabelece interações com um mapa fundamentado no contexto do mundo real. O mapa serve de guia para a localização e busca de Pokémon. Por meio desse mapa, o jogador pode ser encontrado e suas criaturas virtuais são perseguidas. Conforme o deslocamento do jogador, notificações vibratórias são emitidas pelo aplicativo para alertar sobre a presença das criaturas virtuais ao longo do trajeto. Ao efetuar um toque na tela do smartphone, o Pokémon se manifesta em exibição, aparecendo no exato lugar onde o jogador se encontra. Esse fenômeno é alcançado através da superposição da imagem do Pokémon à vista

captada pela câmera, criando a simulação de que o Pokémon ocupa a posição física do jogador. Isso se assemelha à abordagem da realidade virtual (Figura 12).

Figura 12 – Imagem ilustrativa do jogo Pokémon GO.



Fonte: <https://tecnoblog.net/responde/qual-a-diferenca-entre-realidade-virtual-e-realidade-aumentada/>

A RA contribuiu fortemente para o sucesso do jogo. Oliveira (2017, p. 54), ao analisar o jogo Pokémon Go cita que, “o prazer de uma experiência midiática está em sua habilidade de sensorialmente transportar o participante para dentro de uma realidade simulada e ilusória”. Claro que o sucesso do jogo não se dá somente ao uso da tecnologia, associa-se também aos desafios criados, as experiências, ao colecionar e ao possuir.

Focando no uso da RA em específico para a educação, os autores Akçayyr e Akçayyr (2017) realizaram uma revisão sistemática de literatura em que analisaram 68 artigos sobre o uso da RA em ambientes educacionais. Um dos resultados encontrados sugere que a motivação dos alunos aumentou, assim como o seu nível de envolvimento. Além disso, demonstrou que ao utilizar a tecnologia, o professor atribui a responsabilidade ao aluno, permitindo que eles tomem suas próprias decisões. Outro aspecto preponderante, é que a RA facilitou a aprendizagem colaborativa tornando as aulas mais satisfatórias. A RA cria um ambiente virtual em que permite que o usuário estabeleça uma interação trazendo para o ambiente real os objetos virtuais, incrementando e aumentando a visão do mundo real, favorecendo assim a uma aprendizagem significativa (ROCHA *et. al*, 2021).

Outros estudos também demonstraram que a RA pode apoiar o aprendizado de química porque melhora a visualização espacial dos alunos (YAMTINAH *et. al*, 2021). Além disso, os autores têm considerado que a RA constitui um rico campo em relação à sua aplicabilidade no ensino de Química, já que possui versatilidade na inovação de práticas pedagógicas que apresentem alto grau de abstração, tal como a ciência química (GRANDO; AIRES; CLEOPHAS, 2020).

O uso da realidade aumentada pode influenciar os alunos a adquirirem ativamente o conhecimento além de incentivá-los a desenvolver um procedimento operativo de conhecimento. No entanto algumas pesquisas demonstraram que pode existir uma problemática a ser considerada; de que a tecnologia poderia criar um procedimento de aprendizado não receptivo se esta tecnologia não envolver o desenvolvimento de um pensamento crítico, criação de significado ou metacognição por parte do aluno (HANAFI; ELAACHAK; BOUHORMA, 2019).

2.2.1 Aplicativos para dispositivos móveis utilizados no ensino de química

O tema de ligações químicas trata-se de um conhecimento que precisa ser bem apreendido pelos alunos, já que constitui umas das bases para o ensino da química dos anos seguintes. Assim, diversos são os estudos que buscam trazer a este tema diferentes abordagens e metodologias mais lúdicas como forma de incentivar e motivar os alunos ao entendimento e apreensão de conceitos.

Em pesquisa na plataforma de buscas, verificou-se que essas abordagens lúdicas são frequentemente testadas em grupos de alunos para verificar sua eficácia. Jogos de cartas, jogos de tabuleiros e até paródias são alguns dos recursos mais utilizados. Em relação ao uso de TDICs, destacam-se aqueles que utilizam jogos online e modelos tridimensionais para facilitar a visualização. Mais recentemente, o uso da RA vem se destacando como um recurso promissor.

Leite (2020) faz importante estudo sobre RA e destaca algumas pesquisas nessa área. Dentre os autores por ele estudados, destaca-se o trabalho desenvolvido por Irwansyah (2018) que traz a RA como alternativa no ensino das ligações químicas. Segundo o autor “uma das vantagens do RA é que se trata de uma tecnologia que pode ser usada na aprendizagem que é capaz de fornecer visualização 3D e pode ser usada em diferentes smartphones baseados em Android usados por alunos”. Como resultado, o mesmo autor infere que após estudos, verificou que capacidade de

representar o mundo sub microscópico para os alunos aumentou sua aprendizagem e sua motivação.

Ferreira e Santos (2020) analisaram cinco diferentes aplicativos em RA que simulam ligações químicas. Todos os aplicativos estudados funcionam da mesma maneira. Inicialmente é necessário instalar o aplicativo no *smartphone*. Tais aplicativos possuem *cards* configurados com os elementos da tabela periódica, como hidrogênio, cloro, oxigênio, dentre outros. Para simular as ligações químicas, o aluno direcionaria a câmera do celular para dois ou mais *cards*, por exemplo, um *card* de sódio e um *card* de cloro. Assim, ele conseguiria visualizar a interação entre os elétrons de ambos os elementos químicos.

2.3 LIGAÇÕES QUÍMICAS

Dentre os conceitos químicos, a aprendizagem do conceito de ligação química é considerada central no estudo da química uma vez que representa um assunto essencial para entender as transformações que ocorrem no mundo como comportamento das moléculas.

Conforme expressa Linus Pauling (1992),

O conceito de ligação química é o mais valioso conceito em química. O seu desenvolvimento ao longo dos últimos 150 anos tem sido um dos maiores triunfos do intelecto humano. Eu duvido que haja um químico no mundo que não o utilize em seu pensamento. Muito da ciência da tecnologia moderna tem se desenvolvido devido à existência desse conceito (PAULING, 1992, p. 521).

O estudo sobre átomos e moléculas deve ser primordial para a compreensão da química por parte dos estudantes uma vez que se trata de entidades básicas. De acordo com Atkins, Jones e Laverman (2018),

Uma ligação química é o elo entre átomos formado quando os elétrons de valência (os elétrons nas camadas mais externas) se deslocam para uma nova posição, acomodando-se em configurações de energias mais baixas. Se o abaixamento de energia pode ser obtido pela transferência completa de um ou mais elétrons de um átomo para o outro, formam-se íons, e o composto mantém-se pela atração eletrostática entre eles (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018, p. 67)

Ricardo Feltre (2004) aborda o conceito de ligações químicas explicando que,

[...] em condições ambientes, só os gases nobres são formados por átomos isolados uns dos outros, ou seja, átomos que têm pouca tendência de se unir com outros átomos; dizemos então que eles são muito estáveis (pouco reativos). Os átomos dos demais elementos químicos, ao contrário, atraem-se não só mutuamente como também átomos de outros elementos, formando agregados suficientemente estáveis, que constituem as substâncias compostas. [...] As forças que mantêm os átomos unidos são fundamentalmente de natureza elétrica e são responsáveis por ligações químicas (FELTRE, 2004, p. 136)

A aprendizagem sobre ligações químicas constitui um tópico de grande complexidade e de notável importância para os estudantes do ensino médio. Isso se justifica pela razão de que o domínio dessas propriedades, quando apresentado de maneira clara e estruturada, tende a atender de forma mais satisfatória às necessidades dos estudantes tanto no curto prazo, enquanto ainda estão no nível médio, quanto no longo prazo, durante sua trajetória em diversos cursos de nível superior. Isso deve à constatação de que a compreensão do conteúdo de ligações químicas se revela fundamental em diversas esferas do conhecimento (PARALOVO, 2020).

Assim, para promover um desenvolvimento eficiente e aprendizagem sobre ligações químicas, é necessário que o estudante possua, em sua estrutura cognitiva, conceitos fundamentais tais como: eletronegatividade, potencial de ionização, eletro afinidade, orbitais e suas configurações geométricas, distribuição eletrônica, multiplicidade máxima e o princípio de exclusão (PARALOVO, 2020).

Assim, é importante ressaltar que as ligações químicas não têm uma existência ontológica como entidades separadas. Em vez disso, elas representam uma descrição de como os átomos estão interligados, sendo resultado de interações eletrostáticas e específicas da mecânica quântica. A complexidade e abstração inerentes ao conceito de ligação química tornam-no um desafio significativo no ensino da química. A natureza teórica da ligação química requer uma abordagem cuidadosa para garantir uma compreensão sólida por parte dos estudantes (JOKI; AKSELA, 2018).

A evolução da química como uma ciência ao longo das diferentes épocas históricas deixou uma marca indelével nas práticas educacionais e nos modelos de ensino da educação química. As teorias primitivas da composição da matéria desempenharam um papel crucial no desenvolvimento do entendimento humano sobre a ligação química.

Desde os primórdios da humanidade, o ser humano já utilizava materiais naturais para a construção de objetos e ferramentas. Entretanto, foi somente no

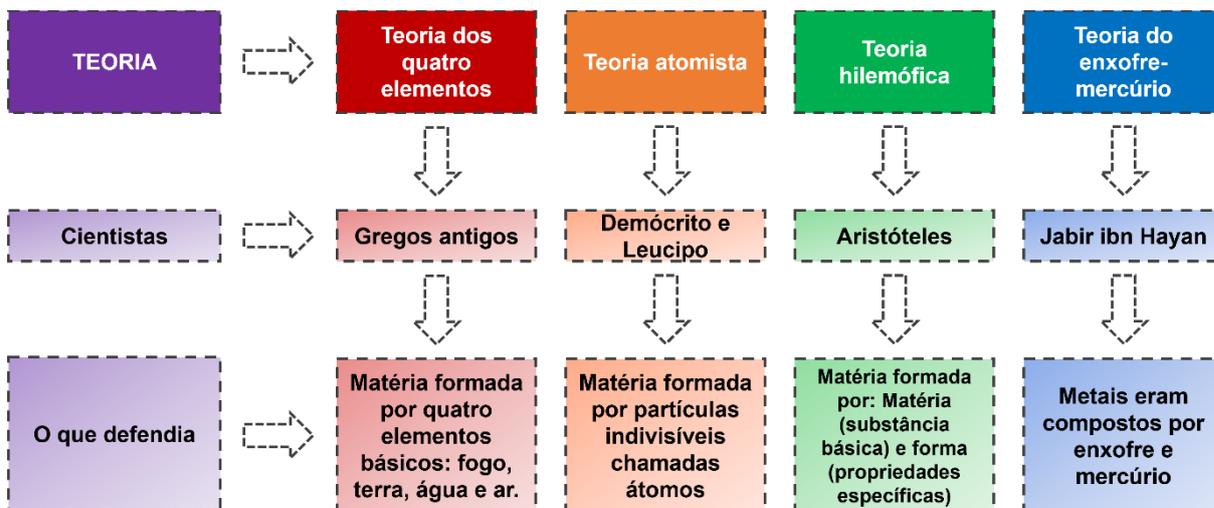
século XVIII que a química começou a ser estudada como uma ciência em si mesma, com a descoberta de Lavoisier de que a matéria não era criada ou destruída, mas sim transformada em outras substâncias.

De acordo com Ferreira e Lambach (2021), foram desenvolvidas quatro teorias primitivas sobre a composição da matéria.

- a) Teoria dos quatro elementos: Essa teoria, atribuída aos antigos gregos, postulava que a matéria era composta por quatro elementos básicos - terra, água, ar e fogo. Acreditava-se que diferentes combinações desses elementos formavam todas as substâncias. A terra seria o elemento que representaria a solidez, a estabilidade e a resistência, poderia ser associada ao peso. A água representaria a fluidez, a adaptabilidade e a capacidade de se moldar, estando, portanto, associada aos líquidos e à umidade. O ar representaria a leveza, a mobilidade e a capacidade de se expandir, associando-se, portanto, aos gases e ao movimento. Por fim, o fogo representaria a energia, a transformação e a capacidade de aquecer, estando associado ao calor e à combustão.
- b) Teoria atomista: Essa teoria, desenvolvida pelos atomistas gregos, como Demócrito e Leucipo, propunha que a matéria era composta por partículas indivisíveis chamadas átomos. Acredita-se que diferentes combinações e arranjos desses átomos formavam todas as substâncias.
- c) Teoria hilemórfica: Essa teoria, desenvolvida por Aristóteles, afirmava que a matéria era composta por duas partes - matéria e forma. A matéria era considerada como a substância básica que constituía os objetos, enquanto a forma era responsável pelas propriedades específicas desses objetos. De acordo com essa teoria, a matéria não tem existência por si só, ela precisa ser informada pela forma para se tornar uma substância concreta.
- d) Teoria do enxofre-mercúrio: Essa teoria, proposta pelo árabe Jabir ibn Hayyan, postulava que os metais eram compostos de uma combinação de enxofre e mercúrio. Esses elementos eram associados a propriedades específicas dos metais.

A Figura 13 sintetiza estas quatro teorias primitivas.

Figura 13 – Síntese das quatro teorias primitivas sobre a composição da matéria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023) com base em Ferreira e Lambach (2021).

Essas teorias primitivas foram importantes para o desenvolvimento do conhecimento químico, mas foram posteriormente substituídas por teorias mais avançadas à medida que novas evidências e descobertas foram feitas.

No século XVII, houve um ressurgimento das concepções da teoria atômica da matéria, influenciado pelos estudos de René Descartes (um filósofo e físico francês, 1596-1650), Pierre Gassendi (um filósofo e cientista francês, 1592-1655) e Isaac Newton (um físico e matemático inglês, 1643-1727). Nesse período, também ocorreu uma retomada das ideias dos filósofos gregos sobre como as partículas se uniam. Por exemplo, Descartes adotou a ideia de que a interação entre átomos acontecia de maneira semelhante aos colchetes e ganchos utilizados pelos gregos.

Figura 14 – Pierri Gassendi e Isaac Newton.



Pierri Gassendi

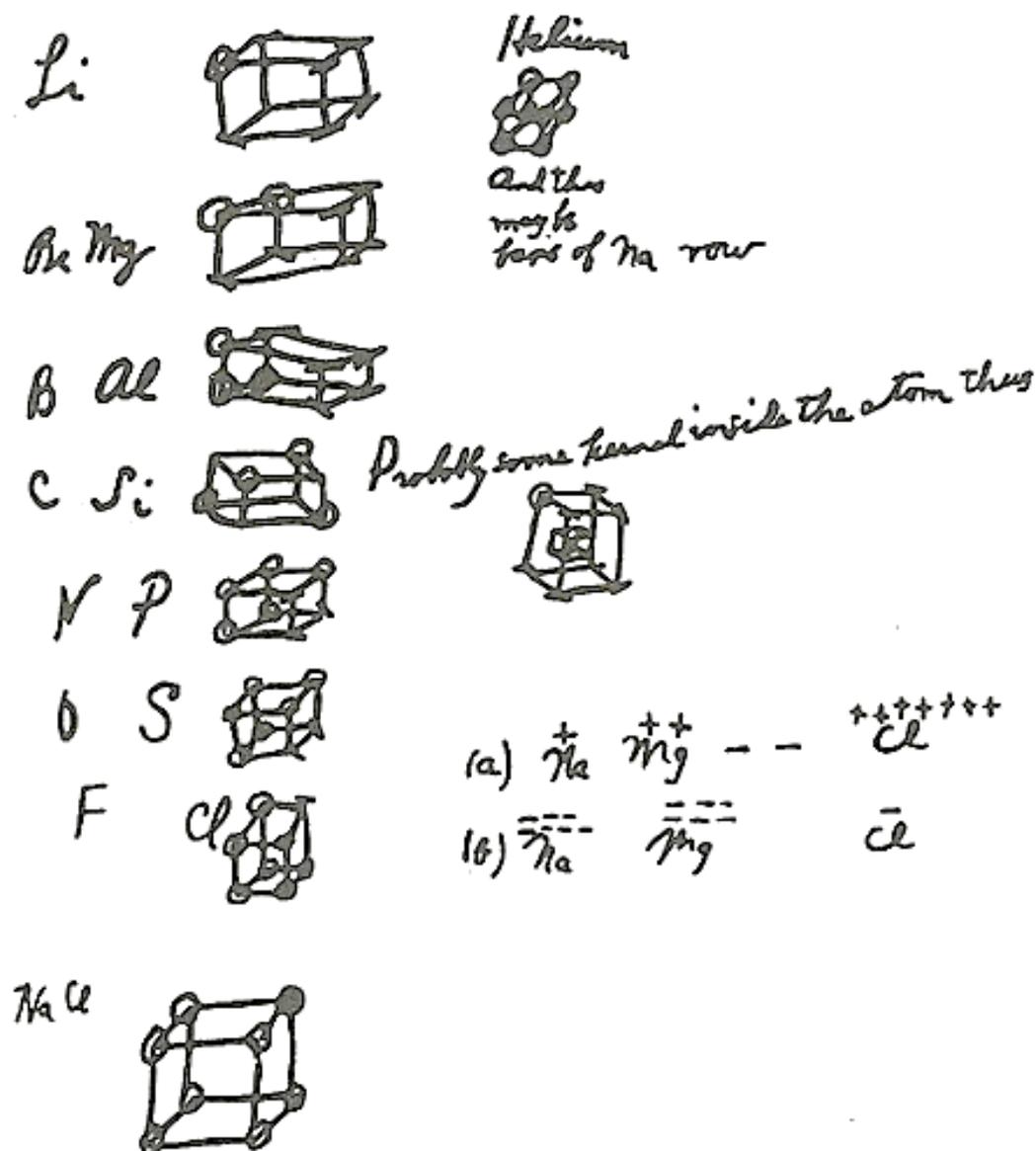
Isaac Newton

Fonte: OLIVEIRA; SCHLÜNZEN JUNIOR; SCHLÜNZEN, 2013.

do átomo molecular e dinâmico os diagramas de pontos, com base na concepção da notável estabilidade associada aos átomos que possuem oito elétrons em suas camadas externas, como é o caso dos gases nobres (OLIVEIRA; SCHLÜNZEN JUNIOR; SCHLÜNZEN, 2013).

Essas teorias, que também incluíram a interpretação das ligações químicas como resultado do compartilhamento de pares de elétrons em quantidade suficiente para atingir o octeto, foram detalhadamente apresentadas em sua obra seminal "The Atom and the Molecule" (O Átomo e a Molécula), publicada por Lewis em 1916 (OLIVEIRA; SCHLÜNZEN JUNIOR; SCHLÜNZEN, 2013). A Figura 17 traz a representação cúbica dos átomos propostos por Lewis.

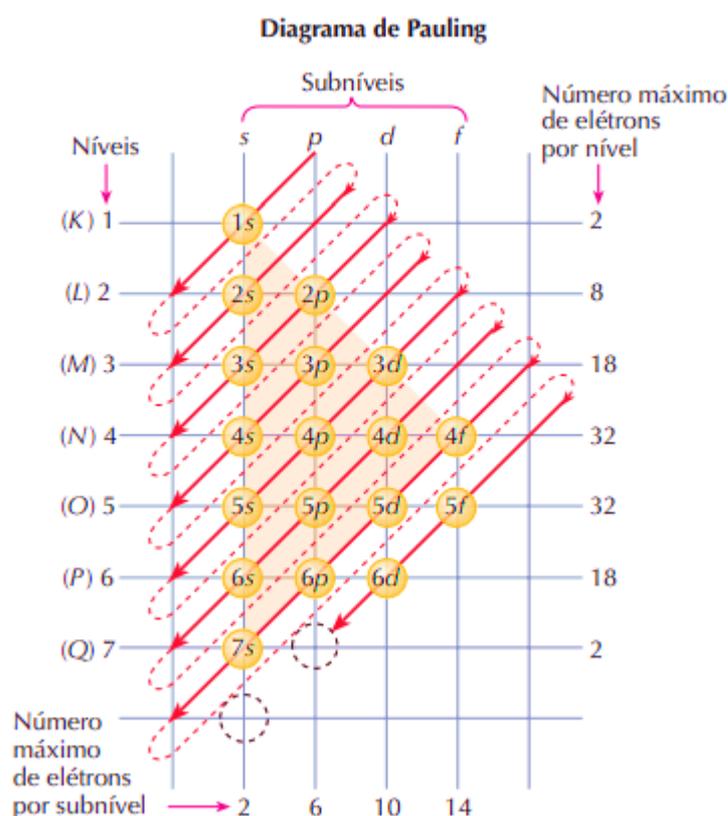
Figura 17 – Representação cúbica de átomos proposta por Lewis.



As concepções de Gilbert Lewis a respeito da ligação química foram ampliadas por Irving Langmuir (1881-1957), um destacado físico dos Estados Unidos. Essa evolução no entendimento da ligação química alcançou seu ápice com os estudos do renomado químico norte-americano Linus Pauling (1901-1994) sobre a natureza das ligações químicas.

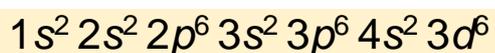
De acordo com a TLV, as ligações químicas são formadas quando os átomos compartilham elétrons de seus níveis mais externos, também conhecidas como níveis de valência. Esses elétrons compartilhados formam um par de elétrons que liga os átomos em uma molécula. Assim, Pauling propõe um diagrama que simplificaria estes conceitos (Figura 18).

Figura 18 – Diagrama proposto por Linus Pauling.



Fonte: FELTRE, 2004.

Deste modo, simplificando ainda mais o diagrama de Pauling, a distribuição eletrônica fica assim escrita,



Os subníveis são escritos em ordem crescente de energia e os expoentes indicam o número total de elétrons existente em cada subnível considerado.

A TLV também explica como os átomos se juntam para formar moléculas e como os elétrons são distribuídos ao redor dos átomos. De acordo com a teoria, as ligações químicas se formam quando os átomos compartilham elétrons, criando uma nuvem de elétrons que envolve os átomos em uma molécula. A forma da molécula pode ser explicada considerando a hibridização dos orbitais e como ela interage com outras substâncias. Os princípios básicos da TLV estão resumidos na Figura 19.

Figura 19 – Princípios básicos da Teoria da Ligação de Valência (TLV).

- 1** A ligação covalente se estabelece quando os orbitais atômicos das camadas de valência dos átomos que constituem a molécula interagem. Essa interação ocorre quando esses orbitais possuem energias similares e condições de simetria apropriadas.
- 2** A ligação química é caracterizada pela criação de pares de elétrons compartilhados entre átomos vizinhos que compõem a molécula.
- 3** O Princípio de Exclusão de Pauli é observado na ligação química, onde os elétrons que fazem parte do par compartilhado entre átomos adjacentes estão emparelhados e possuem spins opostos, garantindo a estabilidade e coerência das ligações covalentes.
- 4** A ligação química se estabelece devido ao recobrimento dos orbitais atômicos nas camadas de valência dos átomos que compõem a molécula, o que resulta em um incremento na densidade eletrônica na região situada entre os núcleos dos átomos envolvidos.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em OLIVEIRA; SCHLÜNZEN JUNIOR; SCHLÜNZEN, 2013.

A Teoria do Orbital Molecular (TOM) é uma teoria química que se concentra na explicação das ligações químicas entre átomos em termos de interações entre orbitais moleculares. Essa teoria foi desenvolvida por volta da década de 1930 e teve um grande impacto na química teórica. Nos últimos anos, diversos artigos científicos

nacionais foram publicados a respeito da TOM, explorando novas aplicações e avanços nessa área da química.

2.3.1 Conceitos fundamentais sobre ligações químicas

Conforme já mencionado, o estudo sobre ligações químicas necessita que o aluno compreenda conceitos fundamentais antes de adentrar especificamente nos seus estudos sobre o tema.

2.3.1.1 Compreensão do modelo atômico atual

O modelo atômico atual, conhecido como o "modelo atômico da mecânica quântica" ou "modelo quântico", é a descrição mais precisa e abrangente da estrutura dos átomos e suas propriedades na química. Esse modelo é baseado nos princípios da mecânica quântica e trouxe um entendimento muito mais profundo do comportamento dos elétrons e da estrutura dos átomos em comparação com os modelos anteriores.

Assim, compreende-se que os alunos devem compreender conceitos relacionados ao modelo atômico atual como orbital, spin e números quânticos. De forma resumida traz-se algumas definições e conceitos sobre estes termos.

Orbital: Os orbitais são regiões no espaço onde existe a máxima probabilidade de encontrar um elétron em um átomo. Eles representam os níveis de energia mais baixos em que um elétron pode estar. A determinação dessas regiões considera as forças de repulsão entre elétrons, que fazem com que eles se distribuam de maneira uniforme, e as forças atrativas em relação ao núcleo atômico.

Spin: O spin é uma propriedade fundamental das partículas subatômicas e se refere à direção de rotação de uma partícula. Qualquer partícula carregada eletricamente em rotação gera um campo magnético, e o elétron não é exceção. A orientação desse campo magnético depende da direção da rotação do elétron, que pode ser no sentido horário (direita) ou no sentido anti-horário (esquerda). Essa característica é intrínseca aos elétrons e está relacionada à sua natureza quântica.

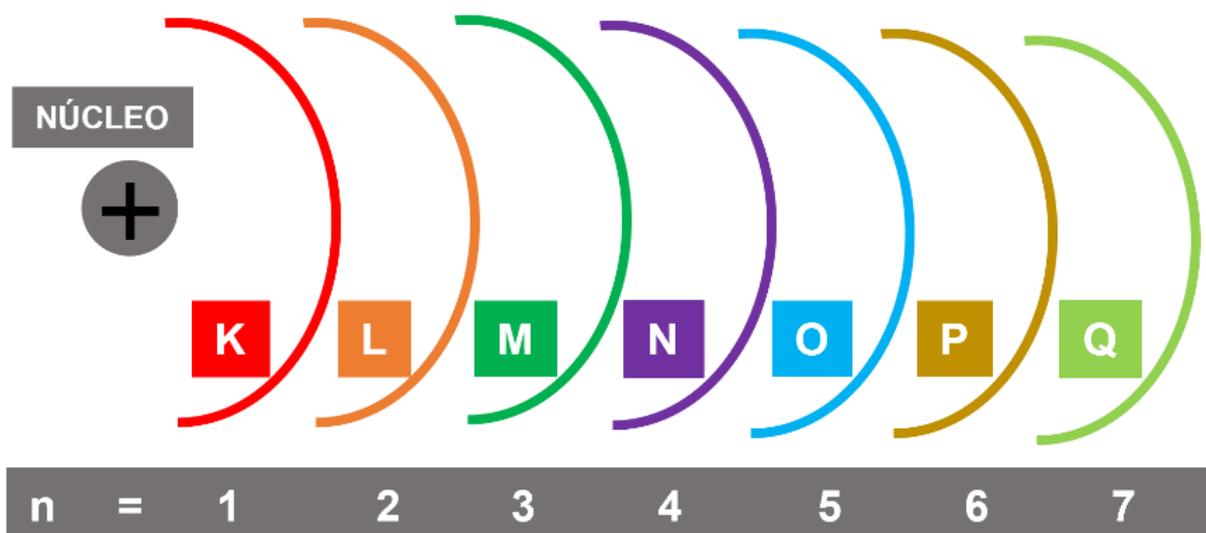
Números Quânticos: Os números quânticos são parâmetros fundamentais na descrição das propriedades energéticas dos elétrons nos átomos, e são cruciais para caracterizar a distribuição espacial dos elétrons. No total, quatro números quânticos são empregados para essa finalidade, cada um desempenhando um papel específico

na descrição dos estados dos elétrons em um átomo. São eles: Número Quântico Principal (n – nível de energia); Número Quântico Azimutal ou Secundário (l – subnível de energia); Número Quântico Magnético (m_l) e Número Quântico de Spin (m_s).

- Número Quântico Principal

É um valor inteiro, geralmente 1, 2, 3, etc., que está intrinsecamente relacionado à distância do elétron em relação ao núcleo do átomo. Ele desempenha um papel fundamental na determinação da energia do elétron, do tamanho do orbital ocupado pelo elétron e da distância entre o orbital e o núcleo. Como exemplo, a distância média do orbital 7s em relação ao núcleo é significativamente maior do que a distância média do orbital 1s em relação ao núcleo (Figura 20).

Figura 20 – Camadas eletrônicas de um átomo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

- Número Quântico Azimutal ou Secundário

Pode também ser encontrado como número quântico do momento angular, " l " está relacionado com a forma do orbital. Ele determina a forma tridimensional do orbital e varia de 0 a $(n-1)$, onde n é o número quântico principal.

Cada nível de energia é subdividido em subníveis de energia, também conhecidos como subcamadas, que são identificados pelo número quântico secundário " l ". O número de subníveis em um determinado nível depende do valor de " n ". Os valores de " l " variam de zero a $(n-1)$. O número de valores de " l " encontrados em cada nível é igual ao número de subníveis possíveis para aquela camada. Por exemplo, na camada K, onde " n " é igual a 1, há apenas um subnível, uma vez que $(n-1)$ é igual a zero. Portanto, " l " tem apenas um valor, que é zero (0). Cada valor de " l "

corresponde a um subnível específico e a um tipo distinto de orbital, que é representado pelas letras "s," "p," "d," e "f" (Figura 21).

Figura 21 – Valores de l para cada subnível e tipo de orbitais.

Valores de l e seus correspondentes tipos de orbitais	
Valor de l	Símbolo do subnível e tipo de orbital
0	s
1	p
2	d
3	f

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

- Número Quântico Magnético

Descreve a orientação espacial do orbital em relação a um eixo específico. Se l for igual a 2, m_l pode variar de -2 a +2. Ele especifica a orientação do orbital no espaço. O número quântico magnético, denotado por " m_l ," fornece informações sobre a quantidade de orbitais presentes em cada subnível e está associado à orientação desses orbitais no espaço. Os valores de " m_l " são números inteiros que abrangem o intervalo de $-l$ a $+l$, incluindo o zero, como ilustrado na Figura 22. Cada valor de " m_l " está diretamente ligado a um tipo específico de orientação dos orbitais no espaço.

Figura 22 – Valores de l e os respectivos valores de m , e número de orbitais por subcamada.

Valores de l e os respectivos valores de m, e número de orbitais por subcamada		
l	$m_l (-l \text{ a } +l)$	Número de orbitais
0	0	Um orbital s
1	-1, 0, +1	Três orbitais p
2	-2, -1, 0, +1, +2	Cinco orbitais d
3	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	Sete orbitais f

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

- Número Quântico de Spin

O número quântico de spin descreve a orientação intrínseca do elétron em relação a um campo magnético. Ele pode ter dois valores: $+1/2$ (spin "para cima") e $-1/2$ (spin "para baixo"). Isso reflete a capacidade dos elétrons de ocupar estados opostos de spin quando preenchem orbitais.

2.3.1.2 O conceito de valência

A valência é um conceito crucial na química que se refere à capacidade de um átomo para formar ligações químicas com outros átomos. Ela está relacionada à quantidade de elétrons que um átomo pode ganhar, perder ou compartilhar para alcançar uma configuração eletrônica mais estável, geralmente semelhante à configuração de gás nobre mais próxima.

A valência de um átomo é frequentemente determinada pelo número de elétrons na camada de valência, também conhecida como camada externa. Essa camada é a que participa diretamente nas interações químicas, influenciando as propriedades químicas e reativas do átomo. Para entender a valência, é importante considerar a Tabela Periódica, que organiza os elementos de acordo com suas propriedades e configurações eletrônicas. Os elementos de um mesmo grupo (ou coluna) da Tabela Periódica geralmente têm propriedades químicas semelhantes, uma vez que possuem o mesmo número de elétrons na camada de valência. Por exemplo, os elementos do grupo 1 (como o hidrogênio e o sódio) têm um elétron na camada de valência, enquanto os elementos do grupo 17 (halogênios, como o cloro e o flúor) têm sete elétrons na camada de valência (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018).

A valência também está associada à capacidade de um átomo ganhar, perder ou compartilhar elétrons para formar ligações químicas e alcançar uma configuração eletrônica mais estável, assemelhando-se à configuração de gás nobre (FELTRE, 2004).

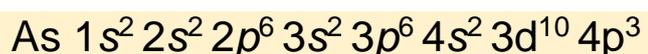
Figura 23 – Teoria eletrônica da valência.

	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>P</i>
Hélio	2					
Neônio	2	8				
Argônio	2	8	8			
Criptônio	2	8	18	8		
Xenônio	2	8	18	18	8	
Radônio	2	8	18	32	18	8

Fonte: Feltre (2004)

Por meio desta representação, verifica-se que os átomos tendem a reagir de maneira a atingir oito elétrons na camada de valência (regra do octeto), exceto para o hidrogênio e o hélio, que busca dois elétrons (regra do dueto).

Nos elementos do grupo principal, também conhecidos como grupos 1A a 8A, os elétrons localizados na camada externa pertencem aos subníveis *s* e *p*. Quando um elemento apresenta um subnível completamente preenchido, os elétrons nesse subnível são denominados elétrons de camada interna. Esse é o caso do arsênio, situado no grupo 5A. Os elétrons contidos no subnível 3*d* são considerados internos e não participam de reações químicas. A configuração eletrônica do Arsênio se encontra a seguir.



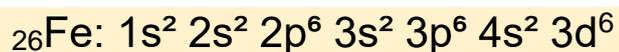
Os elétrons de valência são aqueles colocados na camada mais externa (nível 4) do átomo. Para o arsênio, existem cinco elétrons de valência no total, sendo dois no subnível *s* e três no subnível *p*. Para os elementos que fazem parte do grupo principal, o número de elétrons de valência coincide com o número do próprio grupo, conforme indicado na Figura 24.

Figura 24 – Elétrons de valência de alguns elementos do grupo principal.

Elétrons de valência de alguns elementos do grupo principal			
Elemento químico	Grupo	Configuração eletrônica	Nº de elétrons de valência
Sódio (Na)	1A	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$	1
Berílio (Be)	2A	$1s^2 2s^2$	2
Alumínio (Al)	3A	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$	3
Carbono (C)	4A	$1s^2 2s^2 2p^2$	4
Nitrogênio (N)	5A	$1s^2 2s^2 2p^3$	5
Oxigênio (O)	6A	$1s^2 2s^2 2p^4$	6
Flúor (F)	7A	$1s^2 2s^2 2p^5$	7

Fonte: Feltre (2004)

Nos elementos de transição, os elétrons presentes na camada de valência estão localizados nos subníveis ns e (n – 1) d, em que n representam o nível eletrônico mais externo. A disposição eletrônica do ferro, que possui 26 elétrons, é demonstrada abaixo:



Para o ferro, a camada eletrônica mais externa é a quarta camada (n = 4), então n – 1 resulta em três. Isso implica que os elétrons de valência do ferro ocupam os subníveis 4s² e 3d⁶. Em contraste com os elementos do grupo principal, o número de elétrons de valência não coincide necessariamente com o número do grupo. Ao representar um elemento química, dá-se destaque aos elétrons da camada de valência. Esse tipo de representação é conhecido como estrutura de Lewis.

2.3.1.3 Estrutura de Lewis

De acordo com Feltre (2004), muitas das concepções que temos sobre a ligação química foram modificadas por GN Lewis durante os primeiros anos do século XX. Lewis desenvolveu um método simplificado para ilustrar os elétrons de valência durante a formação de ligações iônicas. Ele optou por representar cada elétron de valência com um ponto, organizando-os ao redor do símbolo do elemento correspondente. Um ponto simboliza um elétron individual em um orbital, enquanto um par de pontos indica dois elétrons acoplados que acompanham o mesmo orbital. Alguns exemplos dos símbolos de Lewis aplicados aos átomos são:

a) De um a quatro elétrons de valência



b) Mais do que 5 elétrons de valência

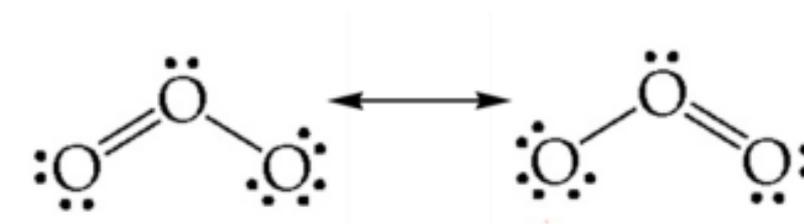


Assim, pode-se dizer que a estrutura de Lewis se constitui em um modelo visual utilizado na química para representar a distribuição dos elétrons de valência dos átomos durante a formação de ligações químicas.

No entanto, apesar de ser um conceito adotado por muitos livros didáticos, o modelo da estrutura de Lewis possui algumas limitações.

1. Simplicidade Excessiva: A estrutura de Lewis é uma representação simplificada da realidade. Ela não leva em consideração a distribuição tridimensional dos elétrons ao redor dos átomos e a influência das interações repulsivas entre pares de elétrons. Isso pode levar a representações que não refletem com precisão a geometria real das moléculas.

2. Por propor o compartilhamento de um par de elétrons localizados entre dois átomos não consegue explicar as observações experimentais para certas moléculas em que uma única estrutura de Lewis não é suficiente para descrever completamente a distribuição eletrônica em uma molécula. Este é o caso da molécula de ozônio (O_3), têm duas estruturas de ressonância, e para explicar que as duas ligações têm o mesmo comprimento, há a necessidade da inclusão da ideia de ressonância, em que a estrutura seria um intermediário entre as duas estruturas de Lewis.



3. Não descreve interações moleculares mais complexas: A estrutura de Lewis é eficaz para representar ligações covalentes simples e iônicas. No entanto, em

moléculas com interações mais complexas, o modelo não é tão preciso em descrever essas relações.

4. Não considera efeitos quânticos: A estrutura de Lewis não leva em consideração as propriedades quânticas dos elétrons, como o princípio da incerteza de Heisenberg e a natureza probabilística da localização dos elétrons. Esses aspectos são cruciais para compreender a distribuição eletrônica em níveis mais avançados.

5. Aplicabilidade limitada a espécies moleculares simples: A estrutura de Lewis é mais aplicável a moléculas simples e átomos isolados. Em sistemas mais complexos, como macromoléculas ou estruturas cristalinas, o modelo perde sua eficácia em descrever as interações químicas.

2.3.1.4 As limitações e a problemática da Regra do Octeto ou Dueto

O uso da regra do octeto como base para explicação sobre ligações químicas é uma abordagem que está sendo cada vez mais questionada e desafiada. Embora seja amplamente utilizado nas abordagens de ensino, essa regra tem suas limitações e não deveria ser utilizada como a única explicação para as ligações químicas. Além disso, a regra do octeto muitas vezes leva a uma compreensão simplista da ligação, onde essa é considerada ontologicamente distinta de um modelo baseado em força. O autor Parolovo (2020) traz importante contribuição ao propor um “novo olhar sobre as ligações químicas interatômicas”. Em seu trabalho de dissertação, discorre sobre a problemática envolvendo a maneira simplificada com que muitos autores de livros didáticos abordam a questão.

Para este autor, conceitos como derivados da química quântica como, descrição probabilística da matéria, densidade eletrônica, orbital atômico, sobreposição de orbitais, combinação linear de orbitais atômicos, teoria da ligação de valência, teoria do orbital molecular, seriam essenciais à plena compreensão das ligações químicas. No entanto, concorda que tais conceitos são demasiados complexos para serem repassados aos discentes, necessitando que eles estejam dotados de uma bagagem teórica maior do que realmente detém.

Outra importante contribuição é a de Zohar e Levy (2018), que, a partir de revisões sistemáticas de literatura, apontam que a abordagem utilizando a regra do octeto pode resultar em uma compreensão superficial da natureza das ligações químicas. Assim, seria fundamental discutir a natureza eletrostática das ligações, enfatizando como os elétrons interagem para formar ligações corretas e compreender

a dinâmica das interações elétron-elétron. No mesmo estudo, os autores evidenciaram que há uma tendência em desconsiderar as forças elétricas – tanto de atração quanto de repulsão. Essa ausência é ampla e sistemática em todos os aspectos teóricos e práticos do ensino e aprendizagem sobre ligações químicas.

Joki e Aksela (2018, p. 932) consideram que a “a regra do octeto é um dispositivo mnemônico prático que pode ser útil para prever fórmulas de compostos simples ou cargas iônicas (principalmente elementos da segunda linha da tabela periódica)”. Na pesquisa que desenvolveram concluíram que nem mesmo os professores têm uma visão clara de que a regra do octeto é um dispositivo mnemônico, utilizando-o com uma “explicação causal ou mesmo teleológica” (JOKI; AKSELA, 2018, p. 948).

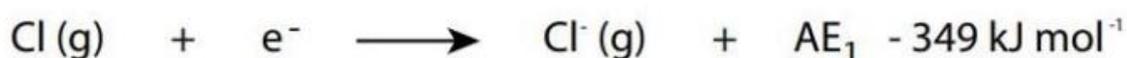
2.3.2 Ligações iônicas

A ligação iônica tem suas raízes nas investigações científicas realizadas no final do século XIX. Durante esse período, cientistas notáveis, como Svante Arrhenius e Friedrich Kohlrausch, desenvolveram a teoria eletrolítica, que postulava a existência de íons em soluções aquosas. Essa teoria estabeleceu as bases para o entendimento da ligação iônica e suas propriedades.

No entanto, foi somente nas décadas seguintes que os cientistas exploraram a compreender a natureza completa da ligação iônica. Gilbert Newton Lewis, em suas pesquisas sobre a ligação química, aprendeu a ideia de que os átomos aprenderam ou doam elétrons para alcançar a estabilidade eletrônica. Essa teoria, conhecida como "teoria do octeto", foi fundamental para a compreensão da ligação iônica e outros tipos de ligações químicas, mas, conforme elucidado, há uma gama de limitações e simplificações a essa regra que acabam por desconsiderar pontos importantes para a compreensão do todo.

O modelo iônico representa a natureza da ligação química em termos dos íons. Esta abordagem de aplicação é particularmente usada para descrever substâncias binárias resultantes da combinação de elementos metálicos e não-metálicos. Um sólido de natureza iônica configura-se como um agrupamento ordenado de cátions e ânions, organizado em uma estrutura tridimensional. Um exemplo ilustrativo é o composto de cloreto de sódio, onde os íons de sódio e cloro se intercalam de forma regular ao longo das três dimensões. Os íons Na^+ e Cl^- possuem cargas opostas, e

como tal se atraem mutuamente por interação eletrostática. Essa atração mantém os íons formando a substância iônica estável cloreto de sódio, representado pela fórmula unitária NaCl. A perda do elétron pelo Na(g) envolve o fornecimento da energia igual à sua primeira energia de ionização, $EI_1 = + 496 \text{ kJ mol}^{-1}$. A incorporação do elétron na camada de valência do átomo de Cl no estado gasoso, formando o íon Cl^- gasoso, envolve a primeira energia de afinidade, $AE_1 = -349 \text{ kJ mol}^{-1}$, em que o sinal negativo significa que essa energia é despreendida pelo sistema. O processo global e o balanço energético total são representados no esquema que se segue.



Balanço energético total dos processos = + 147kj mol-1

Balanço energético da formação dos íons Na^+ e Cl^- no estado gasoso

Esses íons de cargas opostas se atraem formando um retículo cristalino. Esse processo ocorre com liberação de energia: energia reticular. Resultando, assim, numa energia de estabilização global igual a -770 kJ mol^{-1} , o que torna o processo global de formação de NaCl (s) fracamente favorecido.

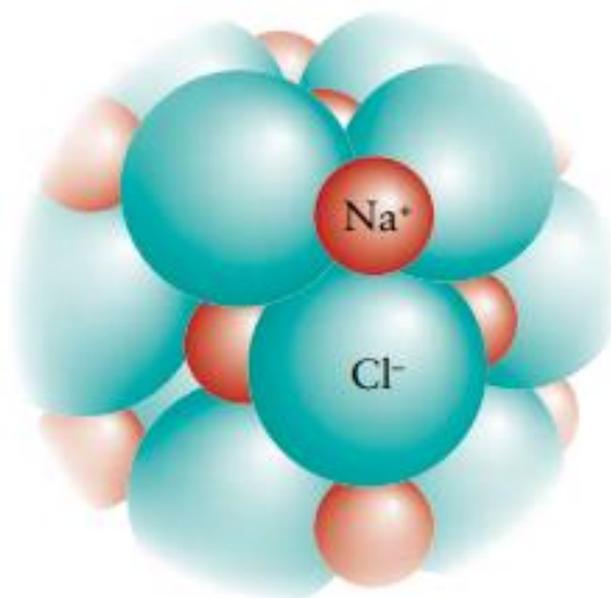
As ligações iônicas constituem um tipo de interação química que emerge quando átomos provenientes de elementos com notáveis discrepâncias em termos de eletronegatividade entram em contato. Quando ocorre a reação entre um átomo de baixa eletronegatividade, geralmente um metal, e um átomo de elevada eletronegatividade, tipicamente um não-metal, ocorre a transferência de elétrons do átomo menos eletronegativo para o átomo de maior eletronegatividade. Essa transferência resulta na geração de um íon positivo, denominado cátion, originado pelo átomo que perdeu elétrons, e de um íon negativo, conhecido como ânion, desenvolvido pelo átomo que adquiriu elétrons (SHAIK; HIBERTY, 2008).

Os íons positivos e negativos gerados pela transferência de elétrons são atraídos um pelo outro por forças eletrostáticas, o que resulta na formação de um composto iônico. Os compostos iônicos geralmente têm altos pontos de fusão e ebulição, são solúveis em água e conduzem eletricidade quando fundidos ou dissolvidos em água, mas não em estado sólido (ATKINS; JONES, LAVERMAN, 2018).

A ligação iônica é uma consequência da diferença de eletronegatividade entre os átomos que estão se ligando. Os metais tendem a ter baixa eletronegatividade, o que significa que eles perdem facilmente elétrons para outros átomos. Já os não-metais tendem a ter alta eletronegatividade, o que significa que eles atraem fortemente elétrons de outros átomos (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018).

Essa diferença de eletronegatividade resulta em uma transferência completa de elétrons de um átomo para outro, em vez de um compartilhamento como nas ligações covalentes.

Figura 25 – Fragmento de cloreto de sódio demonstrando a natureza do sólido iônico.



Fonte: ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018.

Quando um átomo de um metal do bloco s forma um cátion, ele perde um ou dois elétrons até atingir a estrutura de gás nobre de núcleo. Esse caroço normalmente tem a configuração da camada mais externa igual a ns^2np^6 , que é chamada de octeto de elétrons. Assim, o sódio ($[\text{Ne}]3s^1$) perde seu elétron 3s para formar Na^+ , que tem a mesma configuração eletrônica do neônio, $[\text{Ne}]$ ou $1s^12s^22p^6$. Os íons Na^+ não podem perder mais elétrons em uma reação química porque as energias de ionização dos elétrons do caroço são muito altas.

2.3.2 Ligações covalentes

As ligações covalentes representam um tipo de interação química onde os átomos desempenham um papel crucial na formação de moléculas e compostos

químicos. Tais ligações ocorrem quando os átomos são capazes de compartilhar elétrons de maneira a alcançar uma configuração eletrônica estável, preenchendo suas camadas de valência (SILVA; SOUZA, 2018).

Seguindo a abordagem proposta por Lewis, os átomos compartilham pares de elétrons para atingir uma configuração eletrônica semelhante aos gases nobres. Por exemplo, na molécula de água (H_2O), cada átomo de hidrogênio compartilha um par de elétrons com o oxigênio, gerando uma ligação covalente.

É relevante destacar que as ligações covalentes não são uniformes em todos os casos. Classificam-se em simples, duplas ou triplas, de acordo com a quantidade de pares de elétrons compartilhados entre os átomos. Além disso, a natureza das ligações covalentes pode ser polar ou apolar, dependendo da diferença na eletronegatividade dos átomos participantes. A eletronegatividade denota a capacidade de um átomo atrair elétrons para si.

Na ligação covalente, os átomos oferecem elétrons da camada de valência, preenchendo os orbitais e atingindo uma configuração eletrônica semelhante à dos gases nobres. Essa troca eletrônica resulta na formação de uma ligação forte entre os átomos. Os elétrons compartilhados estão associados simultaneamente aos núcleos dos átomos envolvidos, mantendo-os unidos.

A ligação covalente é frequentemente representada por estruturas de Lewis, onde os elétrons de valência são mostrados como pontos em torno dos símbolos dos elementos. Cada par de elétrons compartilhados é representado por um traço (—) entre os átomos. Por exemplo, na molécula de oxigênio (O_2), dois átomos de oxigênio compartilham dois pares de elétrons, resultando em uma ligação dupla ($\text{O}=\text{O}$).

Em algumas ligações covalentes, os átomos têm diferentes camadas de elétrons, resultando em uma distribuição desigual de carga elétrica. Isso leva à formação de ligações covalentes polares, onde um átomo adquire uma carga parcial negativa (δ^-) e outro uma carga parcial positiva (δ^+). A eletronegatividade é uma propriedade química fundamental que descreve a capacidade de um átomo de atração de elétrons em uma ligação química. É uma medida relativa à tendência de um átomo em puxar os elétrons compartilhados em direção a si mesmo quando forma uma ligação covalente com outro átomo. A eletronegatividade é essencial para compreender as interações químicas, a polaridade das ligações e a formação de compostos.

Quando dois átomos têm eletronegatividades muito diferentes, a ligação é considerada polar, com um átomo atraindo mais fortemente os elétrons compartilhados e adquirindo uma carga parcial negativa, enquanto o outro átomo adquire uma carga parcial positiva. Isso cria uma distribuição desigual de cargas na molécula, se a molécula for diatômica. Para moléculas mais complexas, a polaridade depende da forma molecular.

Existem, essencialmente, dois grupos distintos de substâncias que se unem por meio de ligações covalentes, cada um apresentando características únicas:

Moléculas Isoladas: Neste grupo, são encontradas substâncias que podem existir como entidades individuais, com composições químicas bem definidas e geometrias moleculares distintas. Exemplos notáveis incluem o metano (CH_4), água (H_2O) e o ácido clorídrico (HCl). Estas moléculas isoladas exibem ligações covalentes internas robustas entre os átomos constituintes, como é evidenciado pelo alto valor médio da energia de ligação, como é o caso do metano (CH_4) com uma energia média de ligação de 413 kJ mol^{-1} . No entanto, as interações entre moléculas de substâncias como o metano (CH_4) em estado condensado são fracas, geralmente não excedendo 10 kJ mol^{-1} . Esta fragilidade das interações intermoleculares entre as moléculas adjacentes é responsável pelos relativamente baixos pontos de ebulição e fusão dessas substâncias. É fundamental ressaltar que, ao fundir ou vaporizar essas substâncias, apenas as interações intermoleculares fracas são quebradas, não afetando as ligações covalentes internas.

Estruturas Macromoleculares: Neste segundo grupo, as substâncias formam gigantescas redes moleculares, que podem se apresentar sob a forma de camadas, como no caso do grafite, ou como retículos tridimensionais infinitos, exemplificados pelo diamante, silício metálico e dióxido de silício. Nestas substâncias, não existem moléculas individuais; em vez disso, o cristal como um todo pode ser considerado uma macromolécula, na qual cada ponto da estrutura é ocupado por um átomo neutro. As fórmulas unitárias para essas substâncias indicam somente a relação entre os átomos componentes da estrutura, sem existir como unidades isoladas. Um exemplo paradigmático é o quartzo, que forma um retículo molecular gigante, no qual cada ponto do retículo está ligado por ligações covalentes a uma unidade de SiO_2 . No entanto, esta unidade de SiO_2 não existe de forma isolada. Devido ao fato de os elétrons das camadas de valência dos átomos que compõem o retículo serem empregados na formação do retículo gigante, essas substâncias são excelentes

isolantes elétricos, uma vez que não apresentam elétrons livres para a condução de corrente elétrica. Mesmo quando essas substâncias são fundidas, elas continuam a não conduzir corrente elétrica, uma vez que os retículos consistem em átomos neutros. O grande número de ligações covalentes fortes entre as unidades que compõem o retículo confere a essas substâncias alta dureza e pontos de fusão elevados.

3 PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre”.

Paulo Freire

O presente capítulo apresenta os pressupostos metodológicos e os caminhos percorridos nesta pesquisa.

3.1 LOCAL DO ESTUDO

O presente estudo foi realizado em Centro de Educação Profissional (CEDUP) em Lages, Santa Catarina. O município de Lages localiza-se na região do Planalto Catarinense, sendo o maior município em extensão territorial de todo o estado com 2.637,660 km². De acordo com o Censo de 2022, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possui uma população de 164.981 habitantes.

Lages é um município localizado no estado de Santa Catarina, região sul do Brasil, situado a uma distância de 231 km da capital estadual, Florianópolis. Geograficamente, está inserido tanto na Região Geográfica Intermediária de Lages quanto na Região Geográfica Imediata de Lages. Suas coordenadas geográficas são 27° 48' 57" S 50° 19' 33" O, com uma altitude de 916 metros acima do nível do mar.

Figura 26 – Localização de Lages no estado de Santa Catarina.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O município faz fronteira com várias cidades vizinhas, incluindo Bocaina do Sul, Campo Belo do Sul, Capão Alto, Correia Pinto, Otacílio Costa, Painel, Palmeira, São Joaquim e São José do Cerrito. Lages é considerada a principal cidade da Serra Catarinense, uma região turística do estado amplamente procurada durante o inverno devido à ocorrência de neve. Além disso, é o maior município em extensão territorial no estado de Santa Catarina e o 8º maior em população.

A escola escolhida foi o CEDUP Industrial de Lages onde o professor pesquisador é efetivo na disciplina de química. A escola localiza-se na região central da cidade de Lages (SC), na Av. Dom Pedro II, 2555, bairro Vila Nova. Sua sede compartilha as instalações com a Escola de Educação Básica - E.E.B. Industrial de Lages. O CEDUP Industrial de Lages oferece cursos pós-médio, sendo eles: Técnicos em Mecânica, Eletrônica e Eletrotécnica e os cursos de Ensino Médio Integrado à Educação Profissional (EMIEP), sendo estes, em Mecânica e Eletrotécnica.

Figura 27 – Fachada do CEDUP Industrial de Lages.



Fonte: Autor (2023).

3.2 CARACTERIZAÇÃO E CONDIÇÕES GERAIS DO ESTUDO

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa social com abordagem qualitativa. Sobre a pesquisa social, Flick (2013) pondera que,

A pesquisa social tem sido cada vez mais conduzida em contextos práticos, como hospitais ou escolas. Aqui as questões da pesquisa se concentram nas práticas – aquelas de professores, enfermeiros ou médicos – nas instituições, ou nas condições de trabalho específicas nestas instituições – rotinas no hospital ou relações professor-aluno, por exemplo (FLICK, 2013, p. 19).

Justifica-se esta escolha, já que interessa-nos saber como se dão as relações professor-aluno e aluno-aluno dentro do contexto da sala de aula e sobretudo durante a aplicação da SD. O autor indica como vantagens da pesquisa social os seguintes itens:

- explorar questões, campos e fenômenos e proporcionar descrições iniciais;
- descobrir novas relações coletando e analisando dados;
- oferecer dados empíricos e análises como uma base para o desenvolvimento de teorias;
- testar empiricamente as teorias e os estoques de conhecimento existentes;
- documentar os efeitos das intervenções, tratamentos, programas etc., em uma base empírica;
- proporcionar conhecimento (isto é, dados, análises e resultados) como uma base empiricamente fundamentada para tomadas de decisão políticas, administrativas e práticas (FLICK, 2013, p. 21).

O presente estudo, poderá contribuir para obter dados empíricos que possam fomentar discussões que objetivem melhorar as decisões políticas e as políticas públicas que orientam os processos formativos de professores.

Em relação aos objetivos da pesquisa, caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, e sobre esta metodologia de pesquisa Gil (2002) diz que,

Estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado (GIL, 2002, p.41).

Para tal, o delineamento do estudo consiste em uma pesquisa bibliográfica, que na visão de Gil (2002),

A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Essa vantagem torna-se particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço. Por exemplo, seria impossível a um pesquisador percorrer todo o território brasileiro em busca de dados sobre população ou renda per capita; todavia, se tem a sua disposição uma bibliografia adequada, não terá maiores obstáculos para contar com as informações requeridas. A pesquisa bibliográfica também é indispensável nos estudos históricos. Em muitas situações, não há outra maneira de conhecer

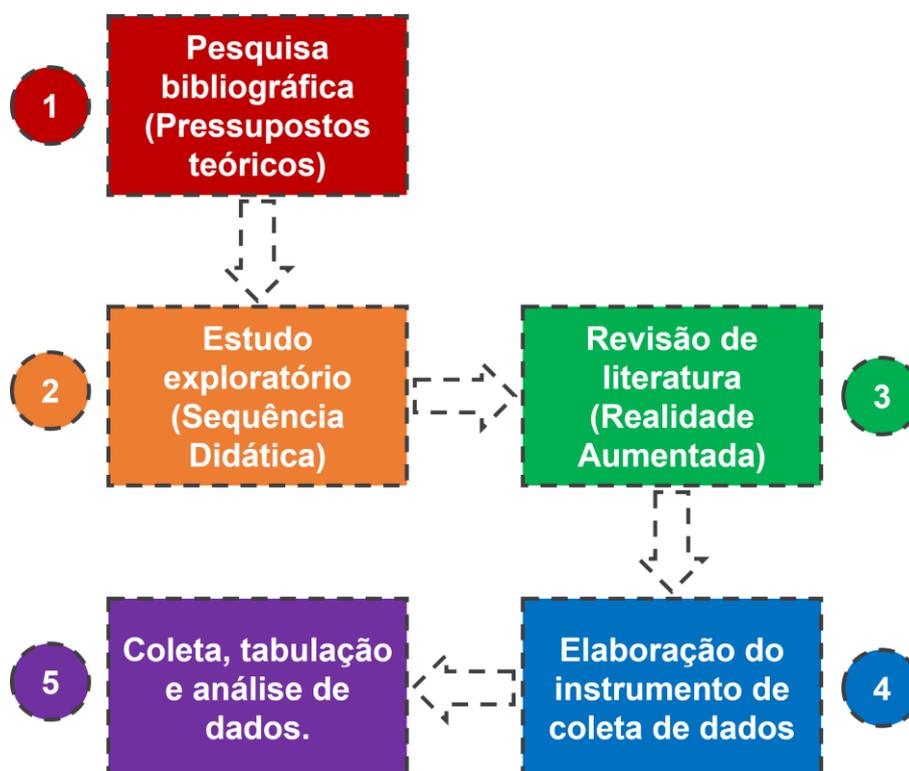
os fatos passados se não com base em dados bibliográficos (GIL, 2002, p. 45).

Conforme destacado por Gil (2002), uma pesquisa exploratória permite uma maior familiaridade com o tema e contribui para a elaboração de hipóteses, enquanto uma pesquisa bibliográfica possibilita uma ampla cobertura de informações e acesso a informações dispersas no espaço. No contexto desta pesquisa, essa abordagem é mostrada essencial para investigar as dificuldades no ensino de química, ligações químicas, ligações iônicas e Realidade Aumentada, temas complexos e multifacetados.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em cinco etapas. A Figura 28 apresenta um esquema resumido a respeito das etapas deste estudo.

Figura 28 – Delineamento esquemático das etapas da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na primeira etapa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de explorar a extensão do que já foi publicado sobre os temas-chave: dificuldades no ensino de química, ligações químicas, ligações iônicas e realidade aumentada. Para

ampliar a base de busca, esses termos também foram traduzidos para o inglês. Para isso, foram empregadas como bases de dados, o Centro de Informação de Recursos Educacionais (ERIC), o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a base de dados do Google Acadêmico. A busca nessas bases de dados foi conduzida por meio da combinação dos termos mencionados acima, levando-se em consideração o período de publicação do estudo. A preferência foi sempre dada aos artigos veiculados em revistas qualificadas. Foram explorados trabalhos científicos com foco específico no ensino da química e foram incorporados trabalhos pertinentes às áreas das ciências naturais, dada a relevância dos resultados apresentados, principalmente no que tange à aplicabilidade da Realidade Aumentada (RA) para o processo de ensino e aprendizagem em sala de aula.

A segunda etapa consistiu em um estudo exploratório e bibliográfico, com o propósito de examinar o conceito de Sequência Didática, uma vez que essa se configura como uma abordagem para investigar como a realidade aumentada pode contribuir para o aprendizado dos estudantes da primeira série do ensino médio, no que diz respeito aos conteúdos de Ligações Iônicas e Covalentes. Nesse contexto, foram efetuadas pesquisas nas mesmas bases de dados anteriormente mencionadas, utilizando os termos e especificações de termos: sequência didática, ensino de química, ligações químicas e realidade aumentada. Com o objetivo de ampliar as buscas, os termos acima foram traduzidos para o inglês, o que resultou numa ampla gama de trabalhos a serem estudados e explorados. Com base nestes estudos iniciais, foi elaborada a Sequência Didática que resultou no produto educacional que segue anexo a essa dissertação.

A terceira etapa englobou uma revisão de literatura, voltada para os principais aplicativos de Realidade Aumentada utilizados no ensino da química. Os estudos abrangem tanto o emprego da RA especificamente para o ensino das ligações químicas quanto para outros conteúdos relacionados à química. O objetivo desta etapa foi avaliar, entre os trabalhos investigados, as vantagens e desvantagens oferecidas por cada aplicativo, buscando identificar a melhor opção de aplicativo que poderia ser utilizado nesta pesquisa. O aplicativo selecionado foi aquele que apresentou os critérios estabelecidos, tais como: usabilidade da interface, ampla gama de opções de ligações químicas, facilidade de download, agilidade na leitura de cartões e feedbacks positivos por parte dos usuários sobre problemas e falhas. Além

disso, um aspecto adicional considerado foi a predominância de aplicativos em língua inglesa. Nesse contexto, optou-se por priorizar um aplicativo na língua portuguesa, facilitando a experiência dos alunos com a Realidade Aumentada (RA) sem introduzir a preocupação adicional de esforçar-se com mais um elemento a ser explorado.

A quarta fase da pesquisa envolveu a elaboração do instrumento de coleta de dados. Durante esse processo, foram examinados diferentes instrumentos de coleta de dados anteriormente empregados em dissertações e teses afins. Com base nessa análise, o presente instrumento foi delineado para atender de forma precisa aos objetivos específicos da pesquisa, além de obter dados de suma relevância, essenciais para uma boa análise e uma interpretação embasada. O emprego de um instrumento de pesquisa adequado reveste-se de notável importância no contexto de uma dissertação. Ele não apenas propicia a coleta de dados necessários para a pesquisa em questão, mas também exerce influência direta na qualidade e confiabilidade dos resultados obtidos.

Por fim, a última etapa consistiu na coleta e tabulação dos dados para posterior análise.

3.2 PARTICIPANTES DO ESTUDO E QUESTÕES ÉTICAS

Os participantes do estudo eram estudantes das turmas de primeiro ano do Ensino Médio do Centro de Educação Profissional Industrial de Lages (CEDUP Industrial), na cidade de Lages, Santa Catarina.

Para a realização do estudo, foi necessário pedir autorização à Secretaria de Estado da Educação junto à Coordenadoria Regional de Educação da Região de Lages (7ª CRE) e à direção da escola. Foram selecionadas por conveniência duas turmas do CEDUP Industrial. Cada turma possui um total de 14 alunos, totalizando 28 alunos participantes do estudo. Cumpre salientar que o pesquisador é professor efetivo nesta escola. Assim, foram escolhidas por conveniência, duas turmas de primeiro ano do Ensino Médio para realização da pesquisa.

Foram respeitados todos os aspectos éticos durante o desenvolvimento da pesquisa, coleta de dados, aplicação da sequência didática e utilização da realidade aumentada com os envolvidos, sendo respeitados os limites da privacidade e legalidade. Para tanto, a adesão dos participantes da pesquisa, bem como a coleta de dados para este estudo foi realizada mediante o pleno conhecimento e assinatura

do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice A). O Apêndice A foi assinado por 6 alunos participantes do estudo que eram maiores de 18 anos. Para os demais alunos (22 alunos) foi elaborado um TCLE direcionado aos pais e responsáveis (Apêndice B). Os alunos foram informados quanto à sua participação em relação aos possíveis riscos e benefícios da pesquisa.

3.3 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

O instrumento de coleta de dados consistiu em um questionário que foi dividido em três seções: Seção A, Seção B e Seção C.

A Seção A, contempla duas questões que abordaram a percepção dos alunos em relação ao seu nível de compreensão sobre conceitos de química em geral. A primeira questão abordou como os alunos verificavam o seu nível de compreensão em relação à disciplina de química. Para esta pergunta foi utilizada uma escala de compreensão que variou de 1 a 5. A segunda questão abordou, dentre uma lista de opções que foram previamente listadas durante a revisão de literatura, quais fatores os alunos consideram que dificultam a sua compreensão na disciplina. Para esta pergunta, os alunos puderam escolher a mais de uma opção, por isso, os resultados apresentados não coincidem com o número de participantes. O instrumento de coleta de dados desta seção, encontra-se no Apêndice C. A Seção A foi aplicada antes de ser iniciada a primeira aula da Sequência Didática.

A Seção B tratou especificamente sobre a experiência da utilização da Realidade Aumentada para o ensino da química. Foram elaboradas 10 questões fechadas em escala qualitativa de 1 a 5 que indagaram sobre a compreensão do conteúdo de ligações químicas e o envolvimento dos alunos antes e depois do uso da RA. As questões também abordaram se os alunos indicariam o uso de RA para a aprendizagem em química e se ela contribuiu com a visualização das ligações químicas. Além disso, buscou-se saber qual o nível de aderência dos conteúdos a partir das próprias percepções dos alunos.

Conforme se verificou durante o delineamento teórico desta pesquisa, uma questão preocupante em muitos estudos foi o nível de dificuldade quanto à utilização da tecnologia ou se a tecnologia poderia conter erros (*bugs*) no momento de sua operacionalização. Além destas questões, os mesmos estudos apresentaram limitações dos aplicativos em relação à aplicabilidade para a química. Assim,

considerando os pressupostos teóricos que embasaram a pesquisa, formulou-se uma última seção, a Seção C, que contém 3 questões: uma questão fechada de abordagem qualitativa e duas questões abertas onde os alunos puderam relatar problemas e limitações quanto ao uso do aplicativo.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

As questões fechadas elencadas nos instrumentos de coletas de dados constantes nos Apêndices C, D e E foram analisadas por meio de gráficos quantitativos que demonstraram a prevalência dos resultados obtidos. Para as duas questões abertas do Apêndice E, foram categorizadas as respostas dos alunos de acordo com os termos que mais apareceram ou foram citados pelos alunos gerando, ao final, um gráfico quantitativo com as respostas obtidas.

A próxima seção (Seção 4), apresenta os resultados e a discussão dos dados e serão apresentados em subseções de acordo com as temáticas da pesquisa e em consonância com o objetivo geral e os objetivos específicos delineados para o trabalho.

3.5 ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PROPOSTA

A estrutura da Sequência Didática (SD) proposta se coaduna com as ideias expressas por David Paul Ausubel que em seu livro de abertura de Psicologia Educacional diz: “O fator isolado mais importante que influencia o aprendizado é aquilo que o aprendiz já conhece”. Sua teoria fundamenta-se na Aprendizagem Significativa, que se traduz como a expansão e a reestruturação de conceitos já presentes na mente, permitindo a habilidade de estabelecer conexões e explorar informações inéditas. Ressalta-se que a teoria de Ausubel também valoriza a aula do tipo expositiva, que é um fator preponderante também na visão do pesquisador.

Nesse contexto, a estrutura da SD adota uma abordagem híbrida, na qual o aluno desempenha um papel protagonista. Isso envolve a implementação de metodologias ativas e o conceito de sala de aula invertida. No entanto, reconhece-se a importância das aulas expositivas para a construção de conceitos fundamentais. Assim, a Sequência Didática proposta combina aulas expositivas, utilização de metodologias ativas, discussões em grupo e atividades colaborativas. Por fim, dedica

um tempo substancial à visualização dos conceitos anteriormente apresentados para serem experienciados e fixados por meio da Realidade Aumentada (RA), foco central da presente pesquisa.

Ao combinar estratégias expositivas com metodologias ativas, discussões e colaboração em grupo, a SD proporciona um ambiente que estimula a reflexão, o diálogo e a construção coletiva do conhecimento. Essa abordagem permite que os alunos assimilem os conceitos essenciais de forma estruturada e contextualizada. Nas próximas páginas, serão detalhadas as diretrizes específicas que delimitam a estrutura da SD e compõem o produto educacional anexado a esta dissertação.

É importante destacar que o objetivo deste trabalho é investigar como a realidade aumentada pode contribuir para o aprendizado dos alunos do primeiro ano do ensino médio em relação aos conteúdos de ligações químicas. Portanto, os momentos propostos, com exceção da Momento 5, foram organizados com base no referencial teórico apresentado, que já faz parte da rotina do professor pesquisador há 10 anos. A Figura 29 traz um esquema ilustrativo com as aulas propostas.

Figura 29 – Esquema ilustrativo da estrutura da Sequência Didática proposta.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os Momentos 1, 2, 3 e 4 foram estruturadas para proporcionar uma sequência lógica na construção do conhecimento pelos alunos. As estratégias adotadas, bem como a metodologia de explicação, estão dentro do escopo de trabalho do professor pesquisador. No entanto, em contraste com a rotina docente habitual, o Momento 5 se destaca por introduzir o uso da Realidade Aumentada (RA). Por fim, o Momento 6 oferece aos alunos a oportunidade de fazer uma revisão do que aprenderam. Estes 6 momentos constituem-se em etapas sequenciais do conteúdo proposto, mas não necessariamente correspondem a uma hora-aula cada justamente porque a SD prevê a flexibilidade de apreensão dos conceitos por parte dos alunos. Assim, o professor pode adaptar-se dentro das cargas horárias propostas em cada momento.

MOMENTO 1 - EXPLORANDO CONHECIMENTOS PRÉVIOS SOBRE QUÍMICA E LIGAÇÕES QUÍMICAS						
OBJETIVOS	ETAPAS	ESTRATÉGIAS	RECURSOS	LOCAL	MATERIAL PRODUZIDO	CARGA HORÁRIA
Introduzir o conceito de ligações químicas de maneira aprofundada, levando em consideração o conhecimento prévio dos alunos, e demonstrar a relevância dessas ligações na estrutura e nas propriedades dos materiais que nos cercam.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Breve introdução sobre a importância das ligações químicas no mundo ao nosso redor. 2. Atividade em grupos: os alunos discutem o que já sabem sobre ligações químicas, compartilhando suas ideias e conhecimentos prévios com a elaboração de um mapa mental. 3. Roda de discussão: cada grupo compartilha uma ideia ou conceito que discutiram. 4. Síntese e recapitulação: síntese da aula identificando e enfatizando os principais conceitos relativos às ligações químicas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aula expositiva introdutória sobre as ligações químicas. 2. Atividade em grupos. 3. Roda de discussão. 4. Síntese e recapitulação. 	Livro didático; Cartolinas / papel Kraft; Lousa e giz; Pincéis atômicos, lápis de cor.	Sala de aula	Mapa mental	2 horas-aula

MOMENTO 2 - EXPLORANDO LIGAÇÕES QUÍMICAS ATRAVÉS DA PESQUISA SOBRE PROPRIEDADES DOS MATERIAIS						
OBJETIVOS	ETAPAS	ESTRATÉGIAS	RECURSOS	LOCAL	MATERIAL PRODUZIDO	CARGA HORÁRIA
Demonstrar os conceitos de ligações iônicas e covalentes por meio da pesquisa sobre propriedades dos materiais e suas ligações químicas correspondentes.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pesquisa online sobre materiais do cotidiano e suas propriedades. 2. Utilização de perguntas-base que guiarão a pesquisa, a partir do monitoramento ativo do professor. 3. Apresentação dos trabalhos por meio de uma entrevista fictícia em que os alunos simularão que conversarão com alguém que repasse as informações sobre os materiais pesquisados. 4. Promoção de discussões e troca de informações entre os grupos. 5. Síntese e recapitulação: síntese da aula identificando as principais descobertas que os alunos fizeram com as pesquisas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pesquisa guiada. 2. Utilização de guia de perguntas. 3. Apresentação dos trabalhos. 4. Discussões reflexivas. 5. Síntese e recapitulação. 	<p>Materiais impressos; Lousa e giz; Livro didático; Computador, tablets com acesso à internet.</p>	Laboratório de informática.	Roteiro de perguntas e respostas à entrevista fictícia.	2 horas-aula

MOMENTO 3 – COMPREENDENDO OS CONCEITOS FUNDAMENTAIS DAS LIGAÇÕES IÔNICAS						
OBJETIVOS	ETAPAS	ESTRATÉGIAS	RECURSOS	LOCAL	MATERIAL PRODUZIDO	CARGA HORÁRIA
Desenvolver uma sequência lógica de aprendizado, que permita aos alunos compreenderem os conceitos fundamentais, como formação de íons, distribuição eletrônica em energias subníveis, classificação periódica e propriedades periódicas, de forma interconectada, para construir uma base sólida de conhecimento em Química.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução dos conceitos fundamentais das ligações iônicas por meio da apresentação de um vídeo. 2. Aula expositiva para que os alunos compreendam os conceitos fundamentais sobretudo a distribuição eletrônica em níveis e subníveis. 3. Fixação dos conteúdos por meio de gamificação – Jogo da ligação iônica. 4. Síntese e recapitulação: síntese da aula e dos conceitos abordados e realização de atividade síntese em casa. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentação de um vídeo introdutório. 2. Aula expositiva. 3. Atividade em grupo – Jogo da ligação iônica. 4. Síntese e recapitulação. 	<p>Materiais impressos; Lousa e giz; Livro didático. Vídeo disponibilizado no Youtube®.</p>	Sala de aula.	Jogo da ligação iônica.	2 a 4 horas-aula

MOMENTO 4 – EXPLORANDO O COMPARTILHAMENTO DE ELÉTRONS						
OBJETIVOS	ETAPAS	ESTRATÉGIAS	RECURSOS	LOCAL	MATERIAL PRODUZIDO	CARGA HORÁRIA
Aprofundar a compreensão dos alunos sobre a ligação covalente, destacando o conceito de compartilhamento de elétrons entre átomos, e como isso influencia a formação de moléculas e a configuração eletrônica.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução dos conceitos fundamentais das ligações covalentes por meio da apresentação de um vídeo. 2. Aula expositiva para que os alunos compreendam os conceitos fundamentais do compartilhamento de elétrons. 3. Fixação dos conteúdos por meio de um caça palavras. 4. Síntese e recapitulação: síntese da aula e dos conceitos abordados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentação de um vídeo introdutório. 2. Aula expositiva. 3. Atividade individual – caça palavras. 4. Síntese e recapitulação. 	<p>Materiais impressos; Lousa e giz; Livro didático. Vídeo disponibilizado no Youtube®.</p>	Sala de aula.	Caça palavras	2 a 4 horas-aula

MOMENTO 5 – EXPLORANDO AS LIGAÇÕES QUÍMICAS COM REALIDADE AUMENTADA						
OBJETIVOS	ETAPAS	ESTRATÉGIAS	RECURSOS	LOCAL	MATERIAL UTILIZADO	CARGA HORÁRIA
Verificar como ocorrem as ligações iônicas e covalentes a partir da visualização espacial utilizando a Realidade Aumentada (RA).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução à Realidade Aumentada e como ela está presente no nosso cotidiano. 2. Apresentação do aplicativo e sua forma de funcionamento. 3. Utilização de aplicativo para visualização das ligações químicas: iônica e covalente. 4. Síntese e recapitulação: síntese da aula e dos conceitos abordados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentação da tecnologia da realidade aumentada. 2. Apresentação do aplicativo. 3. Atividade prática. 4. Síntese e recapitulação. 	<p>Aplicativo QuimicAR instalado em Smartphones e/ou tablets. Cards de ativação.</p>	Sala de aula.	Aplicativo de Realidade Aumentada.	2 a 4 horas-aula

MOMENTO 6 – SÍNTESE E REFLEXÃO						
OBJETIVOS	ETAPAS	ESTRATÉGIAS	RECURSOS	LOCAL DA AULA	MATERIAL UTILIZADO	CARGA HORÁRIA
Realizar uma devolutiva aos alunos sobre o aprendizado obtidos ao longo da sequência didática, destacando o uso da Realidade Aumentada no ensino de ligações iônicas e covalentes.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisão de todos os conceitos estudados. 2. Discussão sobre as estratégias adotadas nas aulas e a experiência com a realidade aumentada. 3. Resolução de exercícios do livro didático ou lista elaborada pelo próprio professor. 4. Síntese e fechamento da aula. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisão conceitual. 2. Discussão em grupo. 3. Resolução de exercícios. 4. Síntese final. 	Lousa e giz; Livro didático; Lista de exercícios.	Sala de aula.	Lista de exercícios.	2 horas-aula

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados os resultados e discussões dos dados coletados com a pesquisa. Inicialmente, será apresentado um relato sobre as impressões pessoais do pesquisador em relação à SD e o uso da RA.

Na sequência, serão apresentadas as questões contidas no instrumento de coleta de dados (Apêndices C, D e E). As perguntas fechadas contidas nos instrumentos serão apresentadas por meio de gráficos quantitativos para ilustrar a prevalência dos resultados obtidos. No caso das duas questões abertas apresentadas no Apêndice E, as respostas dos alunos foram categorizadas com base nos termos mais frequentemente relatados, resultando na criação de um gráfico quantitativo que reflete as respostas coletadas.

A discussão dos gráficos e dos resultados obtidos será conduzida de maneira estruturada e homologada com as temáticas da pesquisa e os objetivos delineados. Os resultados serão interpretados em consonância com os objetivos gerais e específicos do estudo.

Nesta etapa, a análise dos dados será realizada à luz do embasamento teórico adquirido na pesquisa bibliográfica inicial, contribuindo para uma análise mais direcionada das implicações práticas e pedagógicas dessas descobertas. A relevância das descobertas para melhoria do ensino de química e o potencial da RA como ferramenta educacional também serão consideradas.

Por fim, a discussão será enriquecida com entendimentos da literatura acadêmica, destacando pesquisas anteriores que abordam temas similares. Essa abordagem comparativa permitirá uma contextualização mais ampla dos resultados e uma análise mais fundamentada das implicações educacionais e pedagógicas.

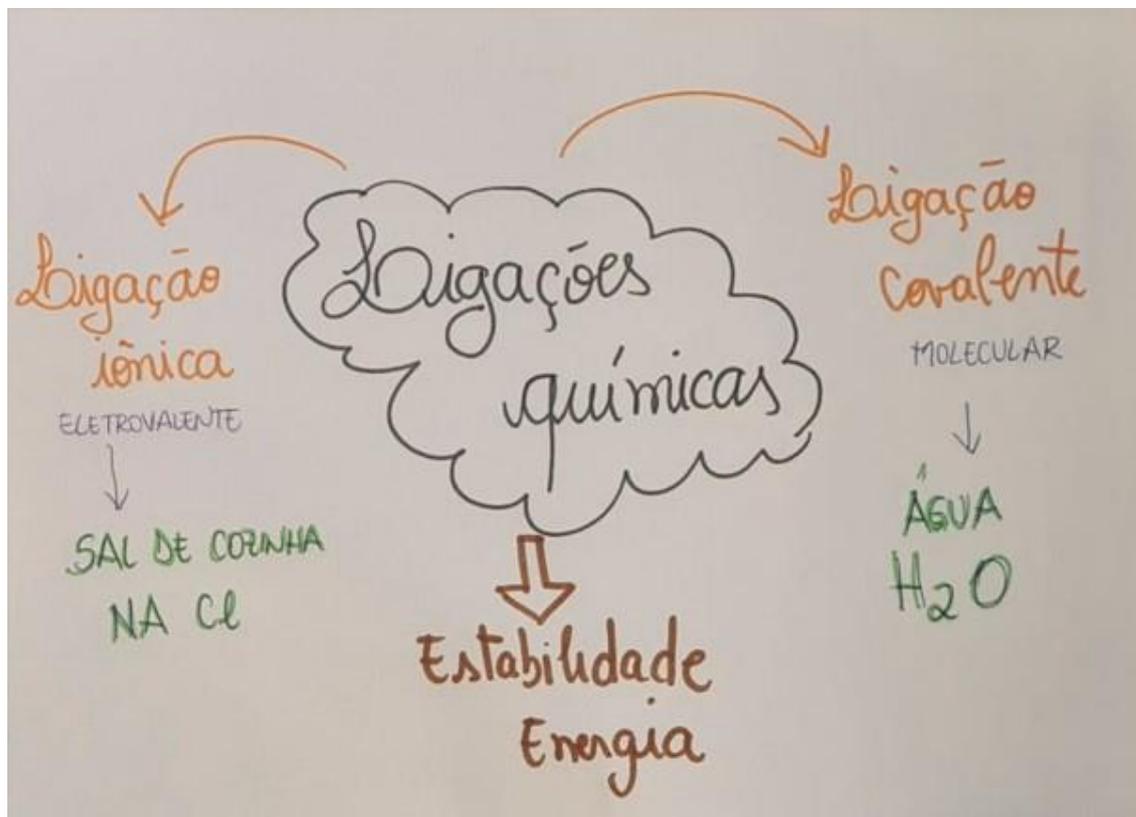
4.1 RELATO DA EXPERIÊNCIA: SEQUÊNCIA DIDÁTICA E O USO DA REALIDADE AUMENTADA

A aplicação efetiva da SD ocorreu nos meses de agosto e setembro de 2022 em duas turmas nas quais o pesquisador leciona a disciplina de química. Cada turma é composta por 14 alunos, totalizando 28 participantes no estudo. A descrição a seguir relata como aconteceram os momentos previstos pela SD em ambas as turmas,

descrevendo sucintamente os acontecimentos. Conforme descrito, trata-se de duas turmas, então toda a sequência foi repetida para a turma A e para a turma B.

O Momento 1 teve como objetivo introduzir os alunos ao tema das ligações químicas por meio de uma exposição inicial, correlacionando o conteúdo com exemplos do cotidiano dos alunos. Após a explicação inicial do professor, os alunos foram instruídos a criar um mapa mental para representar o que sabiam ou tinham aprendido sobre o tópico discutido. Foi explicado que um mapa mental inicia com um conceito central, neste caso, "Ligações Químicas", posicionado no centro da página, a partir do que ramificam subcategorias, palavras-chave ou conceitos relacionados ao tema. Devido ao tamanho das turmas, com apenas 14 alunos em cada, esse trabalho foi realizado em grupos compostos por 4 a 5 alunos em cada equipe. Os alunos trouxeram em seus mapas mentais conceitos básicos iniciais como os tipos de ligações e os principais compostos que conhecem e serviram de exemplo durante a explanação do professor, como sal de cozinha e água. A Figura 30 traz um exemplo de um mapa mental produzido por um grupo de alunos.

Figura 30 – Exemplo de mapa mental produzido pelos alunos.



Fonte: Autor (2023).

É relevante observar que o mapa é bastante simplificado, o que está em consonância com os objetivos propostos para o momento, uma vez que se tratou de uma introdução ao tema. Nos próximos encontros, nos momentos 3 e 4, os conceitos de ligações iônicas e covalentes serão abordados em maior profundidade. Mesmo sendo uma representação simplificada e abordando conceitos iniciais, é significativo destacar a inclusão das palavras “Estabilidade” e “Energia” neste mapa mental, o que foi considerado um aspecto positivo para o desenvolvimento da SD. Ao final da atividade, os grupos apresentaram seus resultados aos colegas, e o professor desempenhou o papel de mediador do conteúdo, corrigindo possíveis erros de interpretação.

Na sequência da SD, o Momento 2 propunha demonstrar os conceitos de ligações iônicas e covalentes por meio de uma pesquisa sobre as propriedades dos materiais e suas ligações químicas correspondentes. Assim, os alunos foram divididos em duplas e trios e foi-lhes pedido que pesquisassem sobre alguns materiais como vidros, tijolos refratários, creme dental, fermento químico em pó, plásticos e borrachas, nanotubo de carbono e outros. Para cada uma das tipologias, foram realizadas perguntas específicas⁷ os alunos, por meio de uma pesquisa guiada, deveriam responder. A apresentação desta tarefa foi feita por meio de uma entrevista fictícia em que os grupos simularam entrevistar cientistas e/ou especialistas nos materiais estudados. Cabe registrar que para a realização desta atividade, os alunos foram encaminhados ao laboratório de informática onde tiveram acesso à internet para realizar suas pesquisas.

A metodologia de ensino bem como a realização desta atividade faz parte da rotina do professor quando aborda o conteúdo de ligações químicas e assim, como nos anos anteriores, a atividade foi bastante produtiva. Os alunos pesquisaram materiais do dia a dia e, por meio desta atividade mais lúdica apresentaram o que aprenderam. A incorporação dessa abordagem para o conteúdo promove uma boa taxa de envolvimento dos alunos que questionam seus colegas e buscam saber mais sobre o assunto debatido.

Os momentos 3 e 4 tiveram por objetivo contextualizar, respectivamente, as ligações iônicas e as ligações covalentes. Conforme descrito pelo Momento 3, o objetivo é que os alunos iniciem efetivamente o estudo compreendendo os conceitos

⁷ As perguntas que foram realizadas estão descritas no Apêndice F desta dissertação.

fundamentais das ligações iônicas. Assim, o professor iniciou a abordagem com um vídeo introdutório sobre o conteúdo, disponível no Youtube. Este vídeo foi produzido pela Brasil Escola sendo bastante esclarecedor e com uma boa introdução ao conteúdo.

No segundo momento, o professor inicia a abordagem aos alunos apresentando o composto Cloreto de Sódio, descrevendo a fórmula química e apresentando as distribuições eletrônicas de ambos os elementos, evidenciado se tratar de um metal e um ametal. Neste momento, foi preciso retomar os conhecimentos prévios dos alunos sobre tabela periódica, como o número atômico do elemento e sua localização na tabela.

A abordagem inicia explanando sobre a tendência dos elementos em adquirir estabilidade e ao se combinarem, formarem Ânions e Cátions, formando um aglomerado iônico. A partir disso, introduziu aos alunos sobre a Regra do Dueto e do Octeto. Neste ponto, cabe uma explicação, apesar do pesquisador compreender que há uma generalização e uma simplificação ao ser adotada essa regra, ela se mostra bastante pedagógica sobretudo para facilitar a compreensão sobre estabilidade.

Após a explanação, o professor repetiu essa metodologia demonstrando a ligação destes compostos: Óxido de Cálcio (CaO); Nitrato de Sódio (NaNO_3); Sulfato de Sódio (Na_2SO_4); Carbonato de Cálcio (CaCO_3); Cloreto de Potássio (KCl); Cloreto de Cálcio (CaCl_2) e Sulfato de cálcio (CaSO_4). Para encerrar a aula e buscando recapitular o conteúdo, o professor dividiu as turmas em duas equipes: Equipe Ânion e Equipe Cátion que disputaram entre si, por meio de um jogo de perguntas e respostas, quem acertaria mais questões. Previamente, o professor elaborou 12 questões simples que foram direcionadas a ambas as equipes.

O Momento 4 iniciou da mesma maneira que o momento anterior. Primeiramente, foi repassado um vídeo introdutório sobre Ligações Covalentes que detalha que fundamentalmente este tipo de ligação ocorre por meio de compartilhamento de pares de elétrons. Mais uma vez, o professor iniciou a abordagem lembrando a conceitos básicos como número atômico, o que é um metal e um ametal. A partir de então, retoma-se Regra do Dueto e do Octeto ao realizar a ligação química do Ácido clorídrico. O professor representa a ligação por meio da fórmula estrutural plana, ressaltando que o traço representa a ligação sigma. Explica também que as ligações podem ser simples, duplas ou triplas e para tanto, descreve

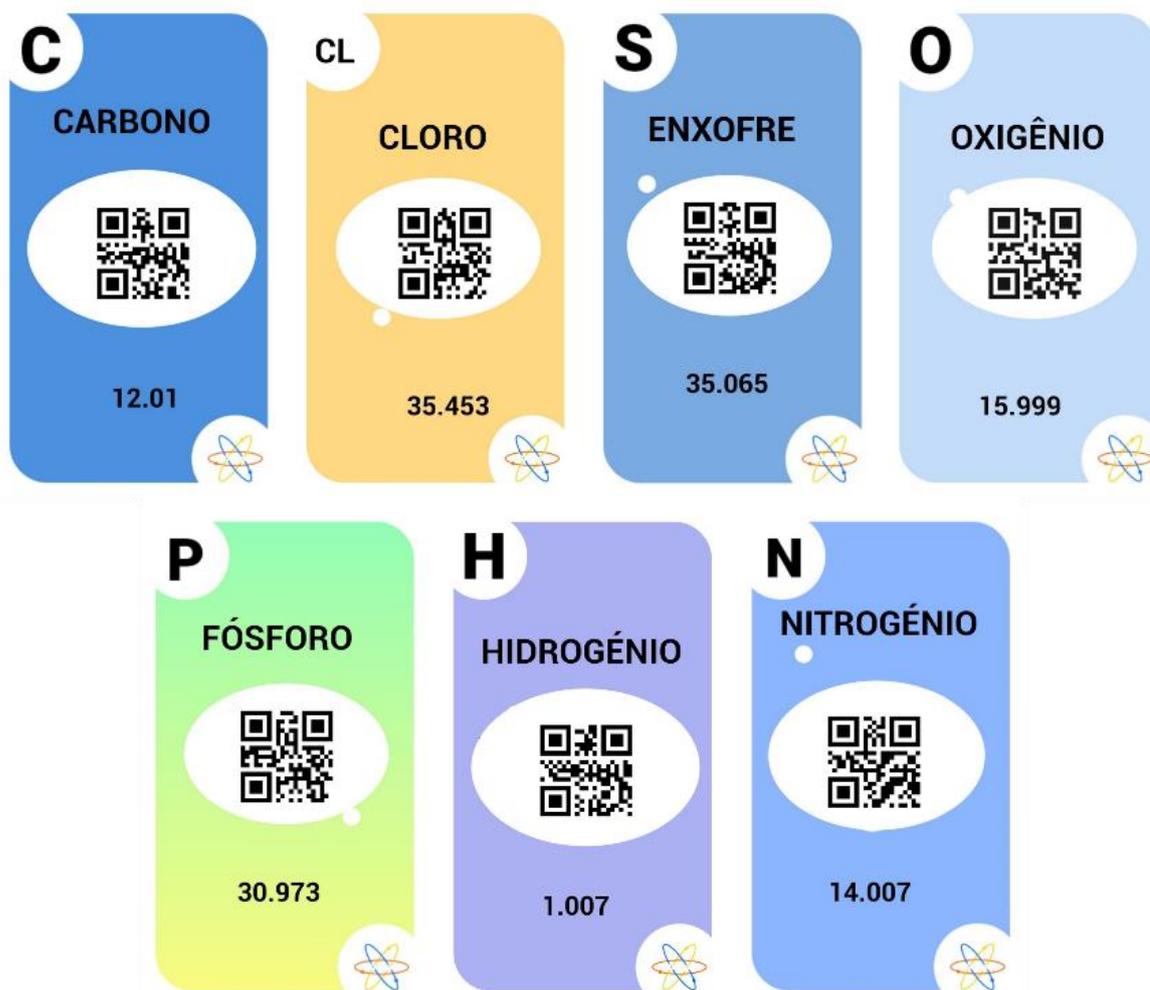
a ligação química de outros compostos: Dióxido de carbono (CO_2); Gás cloro (Cl_2); Gás nitrogênio (N_2); Água (H_2O); Ácido bromídrico (HBr).

A aula encerrou com um caça palavras cujas palavras foram extraídas de um texto específico sobre ligação covalente. O objetivo foi procurar palavras-chave sobre o tema justamente para fixar o conteúdo aprendido.

De acordo com o que foi proposto pela SD, a utilização da tecnologia de RA aconteceu no Momento 5. A escola recebeu recentemente 20 *tablets* do governo estadual. Com o intuito de que cada aluno pudesse experimentar o uso da RA, o professor previamente instalou o aplicativo nos *tablets* da escola e os levou para a sala de aula para a realização da atividade.

Inicialmente, o professor apresentou os *cards* de leitura e ativação da RA, apresentando cada uma das cartas e lembrando os alunos sobre propriedades dos elementos químicos e sua localização na tabela periódica. Cada carta possui um *QR Code* que é lido e ativado pelo aplicativo. A Figura 31 apresenta os *cards* e quais elementos químicos estão disponíveis para o aplicativo.

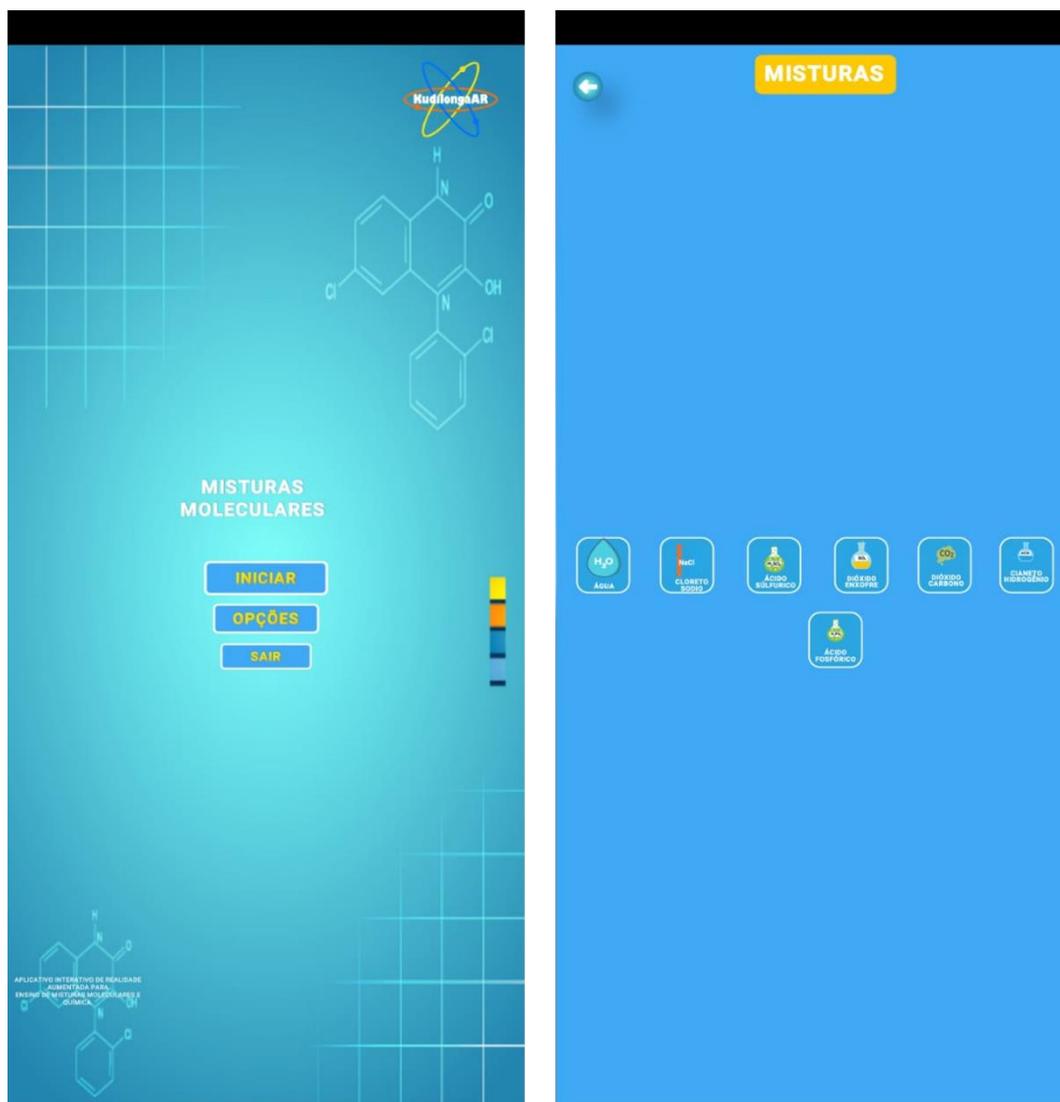
Figura 31 – Cards de ativação do aplicativo de Realidade Aumentada.



Fonte: Autor (2023).

Após essa aproximação inicial com os cards, o professor iniciou a apresentação da interface do aplicativo. A Figura 32 apresenta a tela inicial e os recursos disponíveis no aplicativo.

Figura 32 – Tela inicial e recursos disponíveis no aplicativo de Realidade Aumentada.



Fonte: Autor (2023).

Na tela inicial, aparecem as opções "Iniciar", "Opções" e "Sair". Clicando em iniciar o aluno é direcionado para a segunda tela que apresenta os compostos disponíveis: "Água", "Cloro de Sódio", "Ácido sulfúrico", "Dióxido de enxofre", "Dióxido de Carbono", "Cianeto de Hidrogênio" e "Ácido fosfórico". A Figura 33 apresenta os alunos interagindo com a tecnologia.

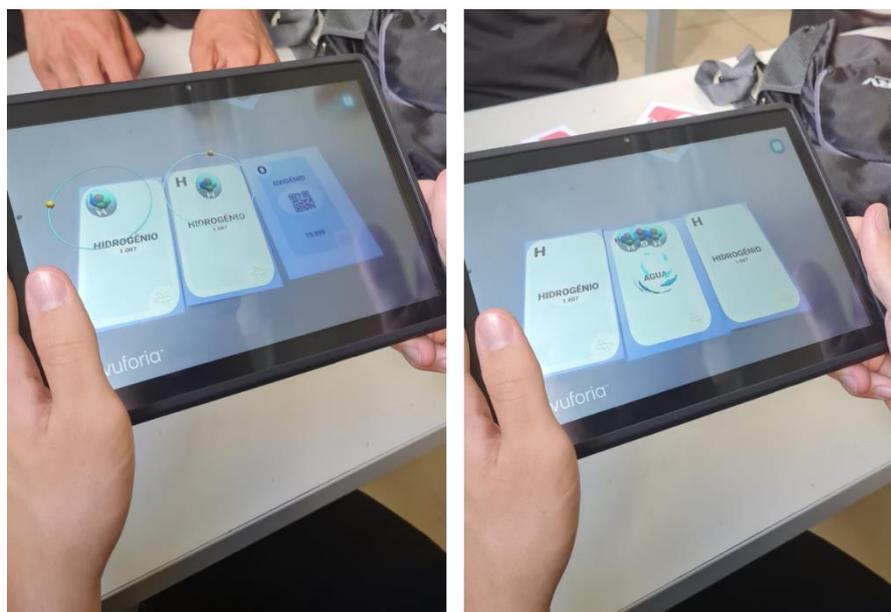
Figura 33 – Alunos utilizando a Realidade Aumentada durante o Momento 5 da Sequência Didática.



Fonte: Autor (2023).

Na sequência, o aluno deveria escolher qual composto desejaria formar. No primeiro exemplo, os alunos escolheram a água. A Figura 34 ilustra como essa ligação química é representada pelo aplicativo.

Figura 34 – Representação da ligação química da água pelo aplicativo de Realidade Aumentada.



Fonte: Autor (2023).

Durante o uso do aplicativo, os alunos mostraram-se bastante envolvidos e engajados procurando explorar a tecnologia. O professor registrou algumas falas durante a aula.

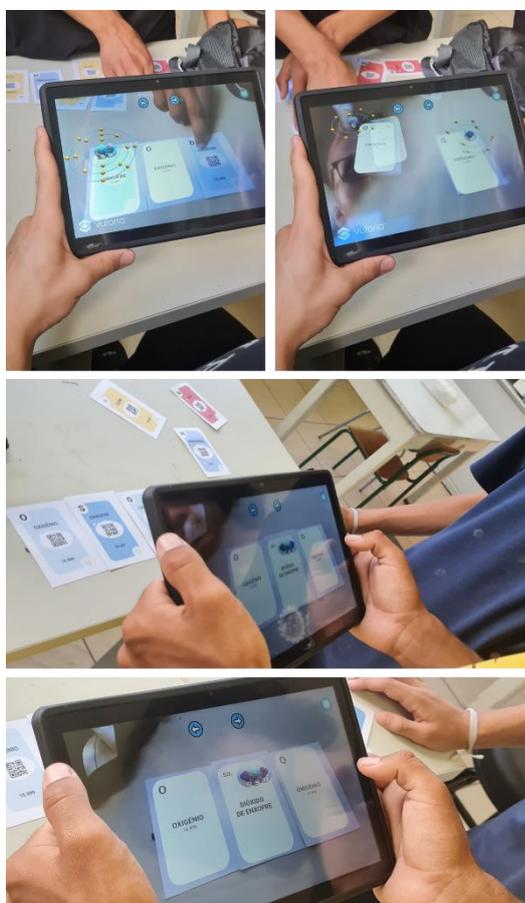
“Que da hora!”

“Se liga na animação. Olha só, vai juntar os três e a água vai aparecer”.

“Saca só que legal! Se eu tirar o oxigênio, cada uma volta pro seu lugar”.

Os alunos foram bastante ativos durante todo o processo procurando compreender as ligações químicas. O professor solicitou que realizassem anotações e registros no caderno sobre suas impressões. Todos os compostos disponíveis foram apresentados e as ligações químicas existentes em cada um deles foi registrada em um quadro resumo classificando cada ligação, o número atômico de cada elemento e a fórmula química resultante do composto. A Figura 35 ilustra o momento em que os alunos formaram o composto Dióxido de enxofre.

Figura 35 – Representação da ligação química do Dióxido de Enxofre pelo aplicativo de Realidade Aumentada.



Fonte: Autor (2023).

Registra-se mais uma vez, alto grau de envolvimento e motivação por parte dos alunos em explorarem o aplicativo. Cabe ressaltar que o professor se deslocou por entre os alunos esclarecendo dúvidas pontuais e revisando os conceitos que já haviam sido explanados anteriormente.

Por fim, o último momento propôs um devolutiva por parte dos alunos sobre o que aprenderam em toda a SD. No primeiro momento, o professor realizou perguntas simples às turmas como: “O que é uma ligação iônica?”; “Qual a diferença entre uma ligação iônica e uma ligação covalente?”; “Cite exemplos de ligações iônicas e covalentes”; “O que é um íon?”. Registra-se que as respostas a essas perguntas foram bastante assertivas na maioria das vezes. No segundo momento, o professor solicitou que os alunos falassem sobre suas experiências com a SD e com o uso da RA.

Eu tinha uma ideia bem diferente de como as ligações aconteciam. Principalmente na ligação covalente, eu tinha outra imagem na minha cabeça. Eu não imaginava uma “nuvenzinha” de elétrons sendo trocados. Foi importante também porque eu vi que se separar uma carta da outra, não acontece a ligação (Aluna C).

A fala da Aluna C é bastante preponderante no que tange ao compartilhamento dos elétrons. A fala da aluna ao mencionar que, quando as cartas eram separadas, a ligação deixava de ocorrer é importante. Cabe ao professor reforçar os conceitos de eletronegatividade dos átomos envolvidos, além de explicar e ponderar sobre a necessidade de adquirir estabilidade energética.

Por fim, a última proposta foi a resolução de exercícios. Cabe registrar, que em comparação com os anos anteriores, sem o uso da RA, os alunos sentiram-se mais motivados a responderem estes exercícios, apresentando um sentimento de auto desafio, querendo comprovar que realmente aprenderam sobre o conteúdo.

Registra-se que essa motivação inicial como extremamente positiva, já que se acredita que o primeiro passo para a construção do conhecimento se dá justamente em querer aprender. O segundo a se considerar diz respeito ao desempenho propriamente dito dos alunos, o professor notou uma melhora significativa neste aspecto. A atividade final proposta está contida no quadro abaixo.

EXERCÍCIOS

1. Explique o que é a Regra do Dueto e do Octeto.

2. Explique o que é e como funciona uma ligação iônica.

3. Explique o que é e como funciona uma ligação covalente.

4. Faça todas as ligações iônicas e covalentes possíveis entre os elementos a seguir. Escreva sua fórmula química e a fórmula estrutural, quando aplicável.

a. Sódio	g. Carbono
b. Oxigênio	h. Lítio
c. Cloro	i. Ouro
d. Enxofre	j. Nitrogênio
e. Fósforo	k. Potássio
f. Hidrogênio	l. Tungstênio

Essa atividade é realizada pelo professor sempre que trabalha com o conteúdo de ligações químicas. No entanto, para este trabalho e dentro da perspectiva proposta pela SD, ela foi aplicada somente após os alunos experimentarem a RA.

Nos anos anteriores, sem o uso da RA, o que o professor percebia que as perguntas 1, 2 e 3 geralmente eram respondidas com facilidade. A dificuldade era fazer com que os alunos tivessem uma atitude proativa frente à questão 4. Inicialmente, espera-se que os alunos dividam os elementos em dois grupos distintos: metal e ametal. A partir disso, conseguem estabelecer se existirá uma ligação iônica ou covalente.

O que foi possível perceber que o uso da RA promoveu a distinção entre metais e ametais para a maioria dos alunos. Vale lembrar que o aplicativo possui os *cards* dos elementos: Carbono, Cloro, Enxofre, Oxigênio, Fósforo, Hidrogênio e Nitrogênio. O exercício proposto acima engloba todos os elementos trabalhados pela RA. Assim, os alunos relataram que se lembraram do tipo de ligações que ocorreram com os elementos vistos na RA, facilitando a atitude de inicialmente separar em grupos de metais e ametais.

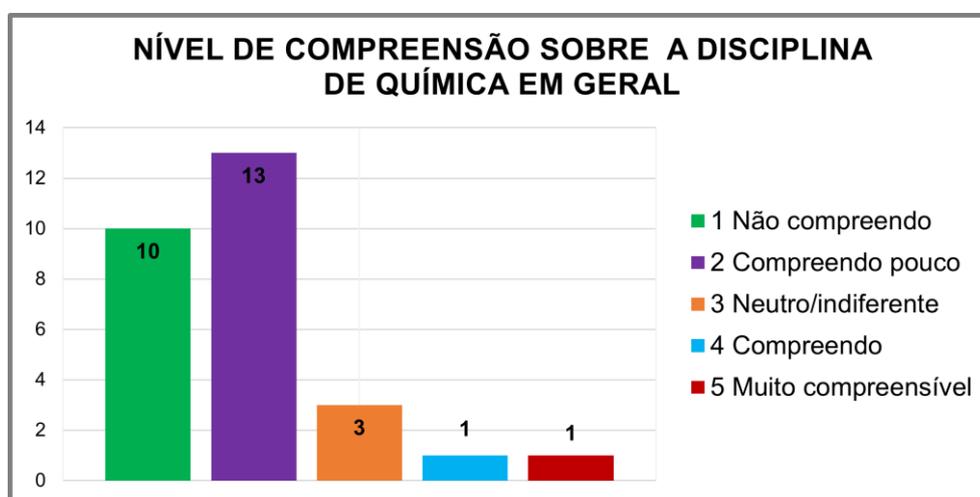
Outro aspecto verificado, foi que os alunos conseguiram representar melhor as fórmulas estruturais das ligações covalentes.

4.2 COMPREENSÃO DA DISCIPLINA DE QUÍMICA NA PERCEPÇÃO DOS ALUNOS

Esta seção aborda as duas questões que foram direcionadas aos alunos antes da aplicação da SD. O objetivo destas questões foi verificar como os alunos percebem seu nível de compreensão em relação aos conceitos gerais de química, ou o seu nível de compreensão de química até o momento da aplicação da pesquisa.

A questão 1 perguntou: Qual o seu nível de compreensão sobre a disciplina de química em geral? O Gráfico 1 apresenta as respostas obtidas.

Gráfico 1 – Percepção dos alunos sobre seu nível de compreensão da disciplina de química.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

De acordo com o gráfico, verifica-se que a maioria dos alunos percebem seu nível de compreensão em química como sendo baixo. Dentro do grupo de 28 alunos pesquisados, um total de 10 alunos respondeu não compreender a disciplina, enquanto 13 alunos afirmaram ter uma compreensão restrita, correspondendo a um percentual considerável de 82,14% do conjunto de alunos. Apenas 2 alunos declararam possuir um entendimento elevado, seja avaliando-o como "compreensível" (1) ou "muito compreensível" (1). Além disso, a reação neutra ou indiferente de três alunos sugere duas possíveis interpretações: primeiro, esses alunos podem não ter a capacidade de avaliar de forma precisa seu próprio nível de compreensão em relação à disciplina; o segundo ponto, é que estes alunos podem ter optado por não responder à pergunta por razões diversas.

Em relação aos dados coletados, alguns fatores podem contribuir para explicar esse panorama. Uma abordagem possível seria a dificuldade intrínseca da química

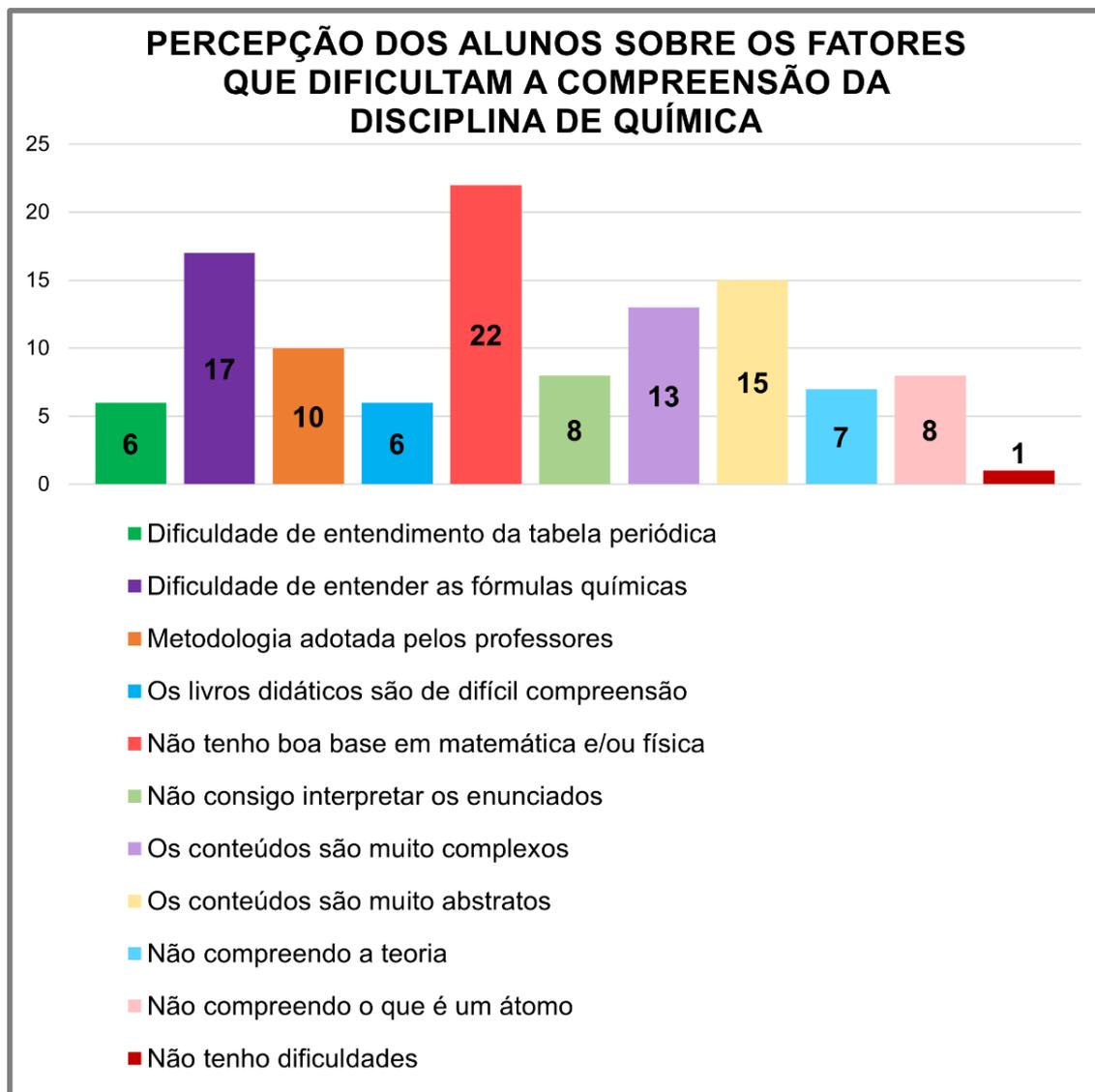
enquanto disciplina, envolvendo conceitos complexos e abstratos. Por essa ótica, verifica-se, assim como aponta Leão, Santos e Souza (2020, p. 6) que a disciplina por ser considerada “estereotipada como complexa, são poucos os alunos que têm afinidade com essa disciplina, o que torna sua aceitação baixa”. Por essa visão estereotipada, muitos alunos podem perceber que não compreendem a disciplina quando na verdade já criaram um bloqueio em relação a ela.

Há que se ressaltar que como componente curricular propriamente dito, a química é inserida somente na primeira série do ensino médio, assim, os alunos pesquisados são “novatos” na linguagem e representações da química.

Para Cooper e Stowe (2018), os especialistas em determinado assunto são aqueles que são capazes de processar uma quantidade significativamente maior de informação em suas áreas de especialização em relação a novatos. A diferença está na forma como os especialistas lidam com informações. Enquanto novatos veem equações químicas como conjuntos aleatórios de símbolos, especialistas atribuem significado a cada parte, permitindo um processamento mais eficiente. O conhecimento é organizado em unidades na mente, facilitando o processamento à medida que se aprende. Assim, os especialistas têm estruturas de conhecimento mais organizadas e contextualizadas do que novatos, que possuem entendimento fragmentado. Sob essa perspectiva, a aquisição do conhecimento se daria através de construções interativas e renovadas, resultantes da interação com a realidade. Isso promoveria a assimilação do conhecimento e, conseqüentemente, o avanço das bases estruturais que capacitam os alunos a discernirem elementos de significância. (LEÃO; SANTOS; SOUZA, 2020).

Seguindo com o instrumento de pesquisa e buscando elucidar melhor a questão inicial, foi perguntando aos alunos “Quais fatores você considera que dificultam a sua compreensão da disciplina de química em geral”. Os resultados obtidos estão apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Percepção dos alunos sobre os fatores que dificultam sua compreensão em química.



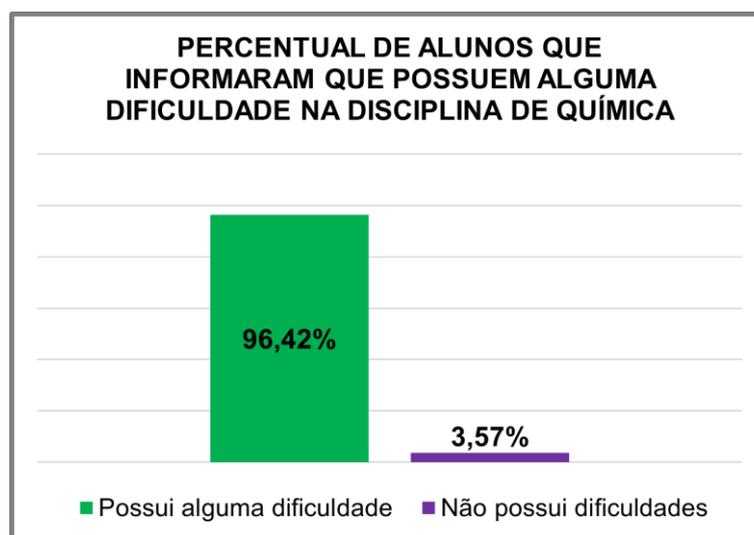
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Primeiro, é preciso considerar que o universo de respondentes totalizou os 28 alunos pesquisados. Dos pesquisados, somente 1 afirmou não possuir dificuldades na disciplina, tendo assinalado somente essa opção. Os demais alunos (27), assinalaram a uma ou mais questões dentre as opções elencadas, por esta razão, o quantitativo final de respostas excede ao número total de pesquisados.

O resultado desta questão revela que 96% dos respondentes possuem alguma dificuldade em química (Gráfico 3). Este resultado é bastante preponderante e relevante, não somente para este trabalho, como também suscitaria novas questões de pesquisa, como: Há alguma relação entre as dificuldades de compreensão em química com os efeitos do pós-pandemia? A química está sendo apresentada de uma

forma que relaciona os conceitos a situações do mundo real? Os diferentes estilos de aprendizagem dos alunos estão sendo considerados? Os alunos recebem feedback construtivo sobre seu desempenho? Estas e outras questões poderiam ser exploradas em trabalhos futuros.

Gráfico 3 – Percentual de alunos que informaram que possuem uma ou mais dificuldades na compreensão da disciplina de química.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

É preponderante frisar que entre os alunos que informaram possuir alguma dificuldade, a maioria assinalou em média 4 das opções listadas. Dentre os obstáculos mais citados pelos estudantes ao aprender química, cita-se a complexidade e abstração dos conceitos, a influência da abordagem de ensino e da qualidade dos materiais didáticos, a habilidade de interpretação, a exigência de familiaridade com uma linguagem técnica específica e a necessidade de competência em matemática e física.

Em relação à necessidade de competência em outras disciplinas, os resultados principais ainda destacam que a falta de uma sólida base em matemática e/ou física foi afirmada por 22 estudantes (78%). Essa questão pode estar diretamente ligada à segunda dificuldade mais comum, nomeadamente a "dificuldade em compreender fórmulas químicas". Dentre esses, 17 alunos (60%) identificaram essa como a dificuldade predominante. Ao examinar o questionário, observou-se que os mesmos alunos que indicaram "Falta de base em matemática e/ou física" também selecionaram a opção "Dificuldade em entender fórmulas químicas". Ainda nesta mesma abordagem, 8 respondentes disseram que não conseguem interpretar os

enunciados das questões. Reafirmando a necessidade de uma boa base, mas neste caso, em língua portuguesa. Para Leão, Santos e Souza (2020, p. 10), “a química trilhou um caminho próprio entre as ciências, o que levou à criação de uma linguagem química, pois enfrentou dificuldades de interpretação e descrição dos fenômenos para chegar à transformação da matéria”. Essa linguagem química a que os autores se referem, pode ser traduzida como o nível representacional ou nível da linguagem proposto por Johnstone (1993), representada neste trabalho na figura 1. Sobre o uso da linguagem química, Talanquer (2022) traz uma importante contribuição,

Representações químicas altamente simbólicas encapsulam informações que precisam ser descompactadas ou reempacotadas para construir conexões com outras representações ou gerar novas representações que diferem em uma ou mais das quatro dimensões [...]. Esta “descompactação” exige conhecimento de convenções disciplinares, padrões conhecidos, sistemas de classificação, regras processuais e primitivas de modelagem que apoiam o raciocínio sobre e com representações químicas (TALANQUER, 2022, p. 2661, tradução nossa).

Contribuindo com essa afirmação, outros autores convergem para a preocupação com métodos de ensino excessivamente focados em fórmulas e regras, prejudicando uma compreensão contextualizada. Uma alternativa seria usar os símbolos de modo a ampliar significados, destacando o papel do professor em facilitar essa apropriação. Essa metodologia ressalta a importância de abordar a linguagem de maneira mais profunda, relacionando símbolos a conceitos, alinhando-se à perspectiva de Vygotsky sobre aprimorar a compreensão do conhecimento através da linguagem significativa (COOPER; STOWE, 2018; LEÃO; SANTOS; SOUZA, 2020; MELO; SILVA, 2019; TAVARES, 2021).

Na análise do gráfico 2, outros pontos merecem destaque. Para 15 respondentes (53%), “os conteúdos são muito abstratos” e para 13 respondentes (46%), “os conteúdos são muito complexos”. Em relação a essa problemática, Cooper e Stowe (2018) afirmam que,

[...] a química lida com o mundo invisível e (a olho nu) invisível dos átomos e moléculas. Para compreender a química, os alunos devem aprender diferentes caracterizações do nível molecular, incluindo diferentes tipos de representações estruturais e diferentes abordagens para visualizar fenômenos a nível molecular. Como as entidades responsáveis pelo comportamento macroscópico das substâncias são demasiadas pequenas para serem vistas e o seu comportamento é governado pelos caprichos da mecânica quântica, os educadores de química há muito procuram formas de tornar o nível molecular mais acessível aos estudantes (COOPER; STOWE, 2018, p. 6072, tradução nossa).

A declaração desses autores está em consonância com os textos analisados na revisão de literatura desta dissertação. Esses textos, por sua vez, reiteram a relevância do triângulo de Johnstone, destacando a dificuldade enfrentada pelos alunos ao navegar entre os vértices desse modelo. É importante notar que o triângulo de Johnstone é uma estrutura conceitual totalmente específica na área de educação, que aborda as relações entre os três tipos de representações na química: macroscópica, submicroscópica e simbólica, ressaltando a importância desse conceito na discussão da dissertação.

Ainda por esse aspecto, muitos autores (JOHNSTONE, 1993; TALANQUER, 2011; BERNHOLT, 2014; SILVA, et al., 2021) convergem em suas análises ao afirmar que o ensino das representações dos conceitos químicos muitas vezes se apoia em métodos que privilegiam a memorização, tais como a classificação e a nomenclatura de substâncias. Contudo, esses pesquisadores também defendem veementemente a ideia de que uma abordagem mais eficaz requer uma conexão intrínseca com as características naturais, os processos químicos e os conceitos teóricos essenciais para compreender e interagir com o mundo natural.

É fundamental ressaltar que essa abordagem, que busca relacionar o ensino da química com a compreensão da natureza e com a aplicação prática dos conceitos, desempenha um papel crucial na redução da percepção comum de que a química é uma disciplina abstrata e distante do cotidiano. Ao ancorar os conceitos químicos em situações do mundo real e nos processos naturais, os estudantes têm a oportunidade de perceber a relevância e a aplicabilidade da química em suas vidas, o que, por sua vez, pode aumentar a motivação e a compreensão dos conteúdos químicos.

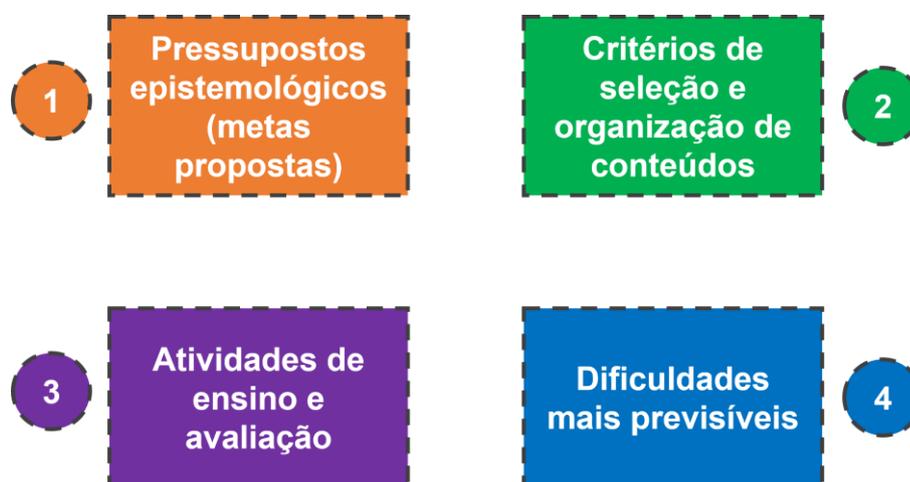
Os resultados da pesquisa, que apontam a metodologia de ensino como um fator que dificulta a compreensão da disciplina de química para 35,71% dos entrevistados, estão diretamente relacionados com o debate anterior sobre o ensino das representações dos conceitos químicos.

A abordagem metodológica utilizada pelos professores pode influenciar significativamente a forma como os conceitos químicos são apresentados aos alunos. Se a metodologia se basear principalmente na memorização e não estabelecer relações significativas com as características naturais, processos químicos e aplicações práticas, isso pode contribuir para a percepção de que a química é uma disciplina abstrata e difícil de compreender.

A discussão anterior destacou a importância de uma abordagem que integra os conceitos químicos com a compreensão da natureza e a aplicação prática. Portanto, a pesquisa que revela preocupações com a metodologia de ensino está alinhada com a necessidade de compensar o modo como a química é abordada em sala de aula.

Para dialogar com este resultado, traz-se uma importante contribuição de Pozo e Crespo (2009) que reflete sobre os diversos enfoques adotados nos últimos anos no âmbito do ensino das ciências. Para estes autores, existem quatro abordagens no ensino que precisam estar bem alinhadas e bem delimitadas. A Figura 36 sintetiza estes quatro enfoques.

Figura 36 – Abordagens preponderantes para o ensino das ciências de acordo com Pozo e Crespo (2009).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023) com base em Pozo e Crespo (2009).

De maneira sintética, entre os pressupostos epistemológicos, os autores defendem que a compreensão da ciência é uma construção humana, sujeita às mudanças ao longo do tempo. Deste modo, enfatizam uma abordagem construtivista, que considera que o conhecimento deve ser construído pelos estudantes, relacionando situações do seu cotidiano. Esta abordagem contribuiria para tornar o conteúdo mais relevante e compreensível (POZO; CRESPO, 2009).

Os critérios de seleção dos conteúdos, de acordo com os autores, devem se basear no conhecimento disciplinar, assim, “um currículo será melhor quanto mais científico for, ou seja, quanto mais acadêmico resulte” (POZO; CRESPO, 2009, p. 248). O terceiro enfoque dado pelos autores se refere à maneira de como desenvolver as atividades de ensino e avaliação, e para tal, propõe uma sequência de atividades que foi descrita na Figura 20 desta dissertação. Ademais, a abordagem descrita por estes autores serviu como base epistemológica para a elaboração da SD deste

trabalho. Por fim, o quarto enfoque problematiza que é preciso ensinar os alunos a enfrentarem os problemas de um modo mais ativo, autônomo e dinâmico para que consigam ativar adequadamente os conhecimentos. Isso implica em capacitar os estudantes a enfrentarem desafios de maneira mais engajada e independente, fortalecendo assim sua compreensão e habilidades. (POZO; CRESPO, 2009).

O Gráfico 2 corrobora ainda mais a ideia de que conceitos específicos de química, como a tabela periódica, a teoria e o conceito de átomo, representam obstáculos específicos para a compreensão da disciplina. Além disso, seis dos entrevistados expressaram que "os livros didáticos são de difícil compreensão". Essas descobertas estão alinhadas com as discussões anteriores sobre o conhecimento científico que se espera que os alunos desenvolvam.

Em escala global, os livros didáticos desempenham um papel fundamental como instrumentos de ensino. Portanto, a compreensão do conteúdo presente nos livros didáticos por parte dos alunos assume uma importância crucial. Isso é especialmente relevante no contexto da química, onde as representações químicas contidas nos livros didáticos devem ser claras, a fim de minimizar as dificuldades de compreensão dos conceitos químicos frequentemente considerados abstratos. Assim, garantir que os livros didáticos apresentem de maneira acessível e compreensível as representações químicas é um passo essencial para superar os desafios identificados no ensino da química. Isso se alinha com a abordagem construtivista mencionada anteriormente, na qual a construção do conhecimento pelos alunos requer materiais educacionais, como os livros didáticos, que facilitam a assimilação dos conceitos químicos.

O trabalho desenvolvido por Upahi e Ramnarain (2019) analisou livros didáticos utilizados no mundo todo, dividindo os tipos de representações em seis subcategorias: macroscópica, submicroscópica, simbólica, múltipla, híbrida e mista. Os autores defendem que a melhor representação seria do tipo mista, em que o livro apresenta um, dois ou três tipos de representações (macro, submicro e simbólico) associando a outro tipo de representação visual, por exemplo, a partir de uma analogia com algo concreto e por imagens pictóricas (UPAHI; RAMNARAIN, 2019).

Por meio desta abordagem, a compreensão de conceitos abstratos e específicos da química como o átomo, por exemplo, também perpassa por uma boa compreensão e utilização do livro didático utilizado. Leal e Baldaquim (2021) corroboram com essa afirmação ao dizer que,

A análise dos níveis de representação é uma forma de compreender a linguagem empregada nos livros didáticos, considera-se também que a linguagem utilizada nos LD atua como promotora da alfabetização científica prática, por ser um instrumento rico de informações e a principal fonte de construção do conhecimento em sala de aula (LEAL; BALDAQUIM, 2021, p. 1944).

Os autores ainda afirmam que para superar as dificuldades de aprendizagem dos alunos em química, é fundamental que o professor trabalhe a representação dos fenômenos naturais por meio de uma linguagem científica para que o aluno consiga estabelecer relações rompendo com a abstração e contribuindo na compreensão da disciplina.

Em resumo, à luz dos princípios epistemológicos e dos desafios práticos propostos, torna-se evidente que uma boa sequência didática em química deve ser cuidadosamente elaborada para envolver os alunos na construção ativa do conhecimento. As premissas construtivistas, que enfatizam a relevância do contexto cotidiano na aprendizagem, ressaltam a importância de conectar os conceitos químicos às situações do mundo real.

A sequência didática proposta nesta dissertação integra tanto livros didáticos quanto metodologias ativas de aprendizagem, com o diferencial da utilização de realidade aumentada para o ensino de ligações químicas. Os princípios construtivistas, que enfatizam a construção ativa do conhecimento, são complementados pela combinação desses recursos. Os livros didáticos forneceriam uma base teórica sólida, enquanto as metodologias ativas, como a resolução de problemas e atividades práticas, estimulariam a participação ativa dos alunos. A incorporação da tecnologia de realidade aumentada na exploração das ligações químicas representaria uma estratégia pedagógica que potencializaria o processo de ensino, viabilizando a visualização tridimensional das estruturas moleculares.

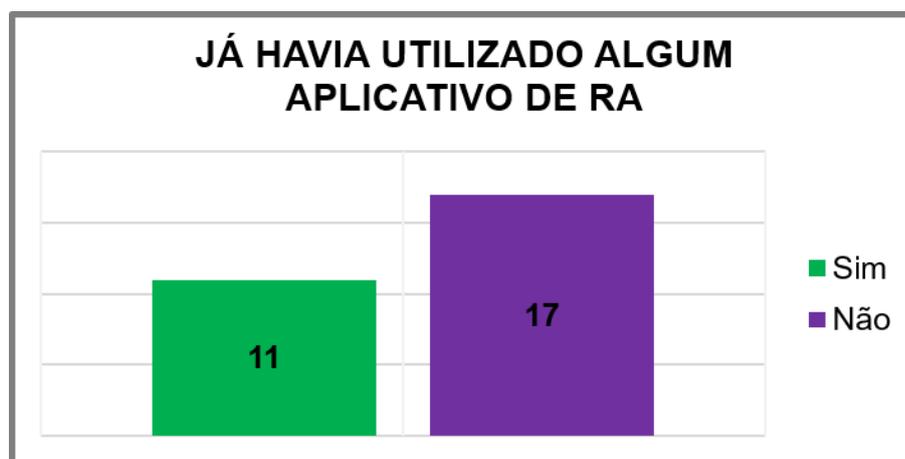
4.3 UTILIZAÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS

Esta seção aborda as dez questões que foram direcionadas aos alunos após a aplicação de toda a SD. O instrumento de pesquisa encontra-se no Apêndice D deste trabalho.

A primeira questão indagou se os alunos já haviam utilizado algum aplicativo de Realidade Aumentada (RA) antes. Importante frisar, que a pergunta não direcionou

o uso específico de RA no ensino de química, uma vez que, conforme explanado na metodologia, o pesquisador é professor efetivo, sendo o único professor a lecionar a disciplina de química nas turmas e na escola participante do estudo. Assim, previamente já se sabia que os estudantes não haviam utilizado algum aplicativo de RA em específico para o estudo da química. A questão proposta buscou descobrir se os alunos já tinham algum conhecimento ou proximidade com a tecnologia. O Gráfico 4 apresenta a síntese de resposta a esta questão.

Gráfico 4 – Utilização prévia de algum aplicativo de Realidade Aumentada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Antes de adentrar à análise do gráfico propriamente dito, é relevante salientar que o Momento 5 da SD apresenta, como seu primeiro momento, uma sugestão de abordagem ao tema. Na proposta sugerida pelo quadro apresentado na SD, procurou-se contextualizar a RA por meio de algo mais palpável e próximo da realidade dos alunos. Nesse sentido, de forma ilustrativa, a RA foi apresentada utilizando o jogo eletrônico Pokémon GO. Isso se justifica, pois, ao jogar Pokémon GO, o usuário interage com um mapa baseado no mundo real. O jogador se localiza e busca Pokémon por meio desse mapa. À medida que ele se desloca, o aplicativo emite vibrações para alertar sobre a presença das criaturas virtuais pelo caminho. Ao tocar a tela do smartphone, é possível visualizar o Pokémon no mesmo local onde o jogador está, uma vez que o jogo sobrepõe à visualização da câmera a imagem do Pokémon e simula que ele está no local onde o jogador se encontra.

Durante o Momento 5, antes de contextualizar os alunos sobre a RA, foi-lhes perguntado se sabiam do que se tratava essa tecnologia. A maioria informou verbalmente não ter conhecimento do tema, e os alunos que se arriscaram a responder confundiram o conceito com o da Realidade Virtual (RV). Assim, reforça-se

a necessidade de o professor, ao longo da SD, promover essa distinção conceitual entre os alunos.

A análise do Gráfico 4 revela que, apesar de inicialmente os alunos terem afirmado verbalmente desconhecer a RA, após a contextualização e a apresentação de um exemplo prático, como o jogo Pokémon GO, o número de respondentes que afirmou já ter utilizado a RA foi de 11 alunos (39,28%), enquanto 17 (60,72%) afirmaram não ter utilizado nenhum aplicativo de RA.

Torna-se preponderante relevar que muitos pesquisadores (ELMQADDEM, 2019; MESQUITA; MESQUITA; BARROSO, 2021; ROCHA, 2021; MAZZUCO, 2021) preveem que num futuro próximo a RA pode ser tornar a nova plataforma de computação e que alguns dos dispositivos que hoje são utilizados, como computadores, projetores e até lousas digitais poderão ser substituídos por dispositivos imersivos baseados tanto em RA como em RV.

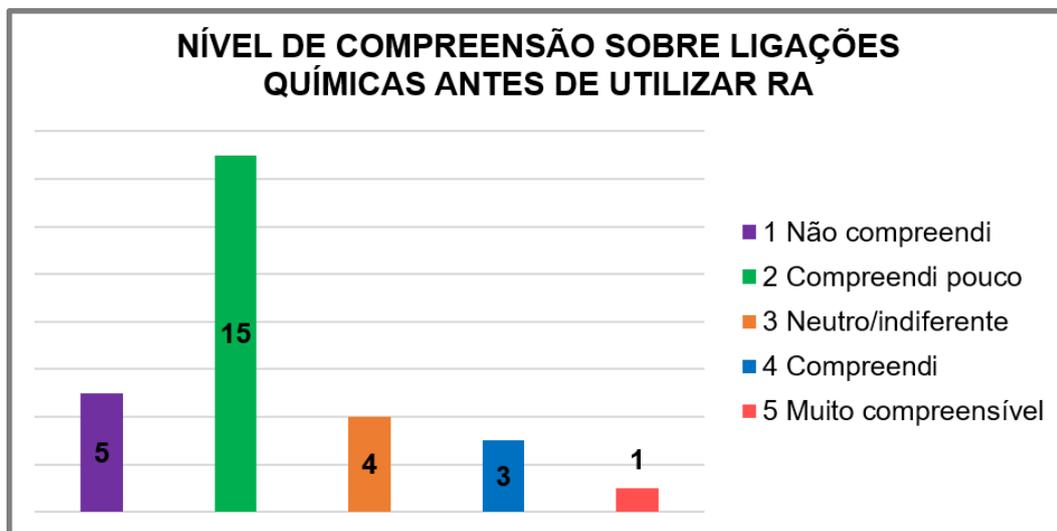
Apesar de todas as vantagens listadas quanto à utilização da RA, faz-se necessário refletir que a utilização desta tecnologia pode representar um desafio a ser considerado. Iqbal, Mangina e Campbell (2022) dizem que,

Alguns professores podem não conseguir colocar estas novas tecnologias em prática devido à falta das competências necessárias. Há necessidade de instrutores dispostos a se envolver com estas novas tecnologias e as instituições educacionais precisam adaptar sua infraestrutura para receber as tecnologias de RA em sala de aula. A disponibilidade de hardware é uma limitação a considerar para a adoção da RA nas escolas. Ainda assim, cabe aos governos e aos políticos considerarem o investimento em dispositivos de RA, dado o seu impacto a longo prazo na retenção de conhecimentos e no maior envolvimento dos alunos com conteúdos e atividades educativas (IQBAL; MANGINA; CAMPBELL, 2022).

Assim, de acordo com estes autores, a integração da RA no ensino exige capacitação docente e infraestrutura adequada. Governos e políticos devem reconhecer seu potencial para melhorar o envolvimento dos alunos e a retenção de conhecimento, justificando investimentos na educação.

Na sequência, o instrumento de pesquisa avançou para questões específicas relacionadas ao aprendizado de química por meio de RA. A questão 2 indagou aos alunos: Qual o seu nível de compreensão sobre ligações químicas ANTES de utilizar a Realidade Aumentada (RA)? O Gráfico 5 apresenta a síntese com estas respostas.

Gráfico 5 – Nível de compreensão sobre o conteúdo de ligações químicas antes de utilizar a Realidade Aumentada.



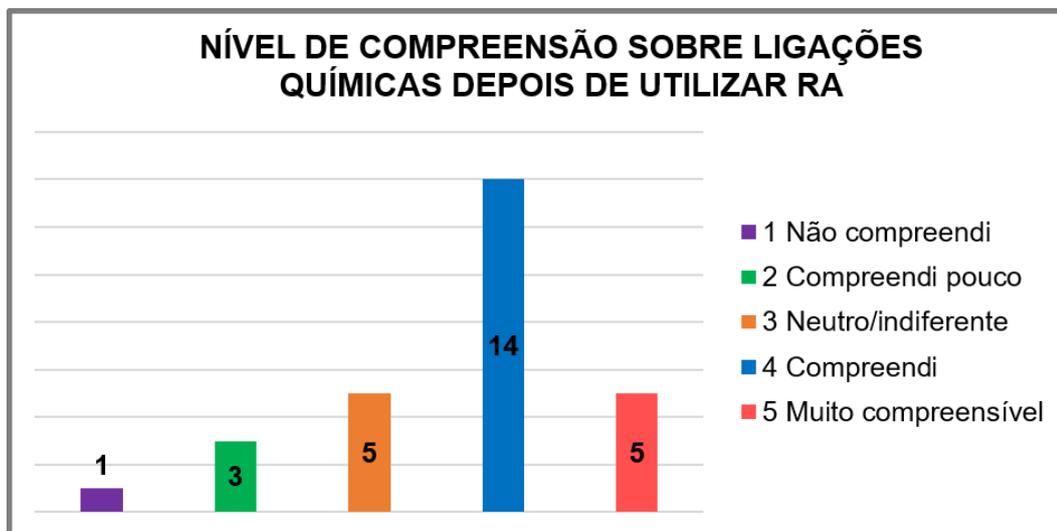
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Antes de apresentar a análise sobre este gráfico, é salutar contextualizar que o instrumento de pesquisa foi realizado ao final da aplicação de toda a SD e que os alunos, podem, por estarem motivados pelo uso de uma nova tecnologia, comparar seu conhecimento prévio como sendo muito negativo ou muito baixo em comparação com o momento pós uso da RA.

No entanto, ao comparar essa informação com o Gráfico 1, no qual 82,14% dos alunos responderam que não compreendem a disciplina ou têm uma compreensão restrita, observa-se que 71,42% dos alunos afirmaram não compreenderem o conteúdo de ligações químicas ou terem uma compreensão limitada.

Avançando sobre o instrumento de pesquisa, a terceira questão indagou aos alunos: Qual o seu nível de compreensão sobre ligações químicas DEPOIS de utilizar a Realidade Aumentada (RA)? O Gráfico 6 apresenta a síntese com estas respostas.

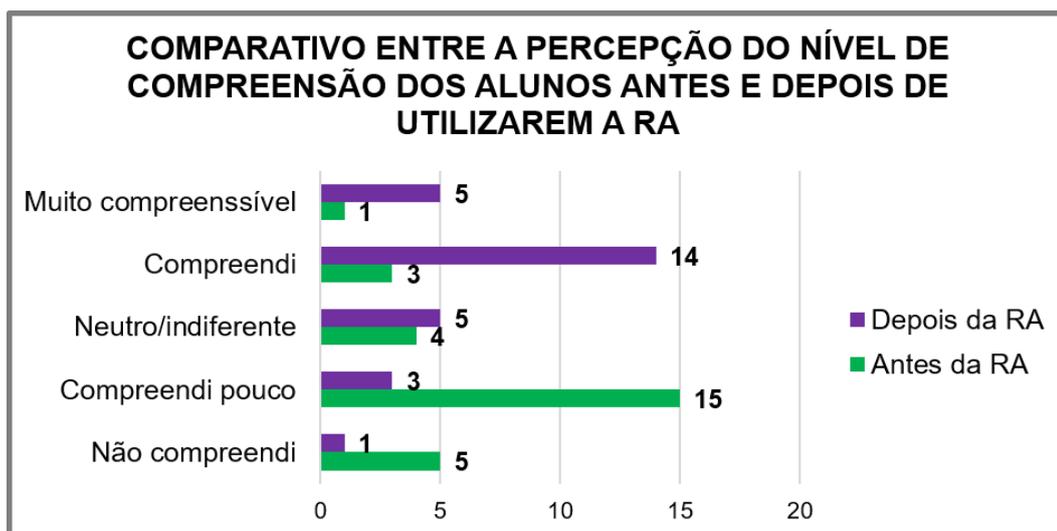
Gráfico 6 – Nível de compreensão sobre o conteúdo de ligações químicas antes de utilizar a Realidade Aumentada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para melhor analisar estes resultados, entendeu-se ser necessário realizar um gráfico comparando ambas as respostas. E, conforme já mencionado, há que se considerar o nível de motivação dos alunos frente à uma nova tecnologia e, portanto, podem ter respondido ao uso da RA como sendo extremamente positivo e a não utilização desta tecnologia como negativa. O Gráfico 7 apresenta este comparativo.

Gráfico 7 – Comparativo entre a percepção do nível de compreensão sobre o conteúdo de ligações químicas antes e depois da utilização da Realidade Aumentada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Conforme pode ser observado, o número de alunos que considerou o conteúdo como "Muito compreensível" aumentou de 1 para 5 alunos. Por outro lado, os alunos

que afirmaram “compreender” o conteúdo experimentaram uma melhoria significativa, passando de 3 para 14 alunos, o que representa metade dos entrevistados. Somando-se a esses 14 alunos, os 5 que consideraram o conteúdo "Muito compreensível", chega-se a um total de 67,85% dos participantes que relataram uma compreensão satisfatória.

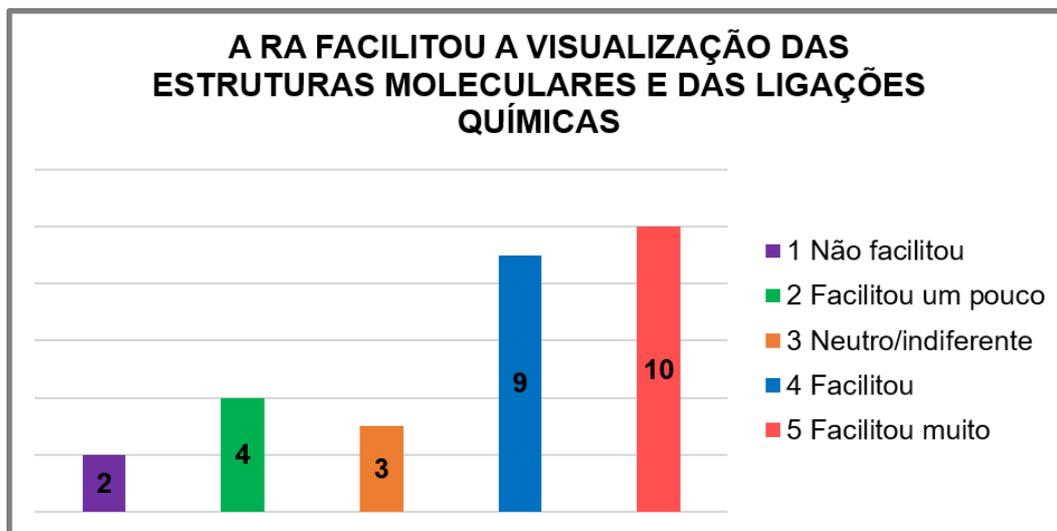
Houve pouca variação entre os alunos que afirmaram que o uso da RA é neutro ou não afeta sua compreensão do conteúdo, indo de 4 para 5 alunos. No entanto, uma mudança significativa ocorreu quando se observa o número de alunos que relataram compreender pouco ou não compreender o conteúdo. Aqueles que disseram compreender pouco diminuíram de 15 para apenas 3 alunos, enquanto os alunos que afirmaram não compreender o conteúdo diminuíram de 5 para apenas 1 aluno.

Sari et al. (2021) pontua que é necessário que os alunos sejam capazes de conectar o mundo macroscópico, que eles podem ver, ao mundo submicroscópico e simbólico. Deste modo, a RA pode ser uma das soluções que contribua na superação destas dificuldades de compreensão e sobretudo, visualização. Estes autores ainda ponderam que a RA tem um impacto positivo no processo de aprendizagem já que altera a atitude do aluno frente ao problema (conceito a ser estudado). Abdinejad et al. (2020), em estudo que observou o uso de RA em específico para geometria molecular, encontraram conclusão análoga ao afirmar que ferramentas de RA ajudaram os alunos a visualizarem os conceitos em 3D difíceis de serem reproduzidos por meio de desenhos ou esquemas. Além disso, apontaram um feedback positivo por parte dos alunos em relação aos modelos bola e bastão tradicionalmente utilizados no ensino deste conteúdo. Assim, a facilidade de visualização pode ser um fator que justifique o aumento na compreensão do conteúdo por parte dos participantes do estudo.

Os autores Grando, Aires e Cleophas (2020) problematizam porém, que mais importante que utilizar tecnologias digitais, é o professor compreender seu papel como mediador dentro do processo de ensino e aprendizagem e que, mesmo que os alunos consigam visualizar estruturas e compreendam o nível representacional inerente da química, a medição efetiva do professor em todo o processo de aprendizagem reduz possíveis obstáculos pedagógicos.

Na sequência, a questão 4 do instrumento de pesquisa indagou aos alunos se a Realidade Aumentada (RA) facilitou a visualização das estruturas moleculares e das ligações químicas. A resposta a esta questão está demonstrada no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Visualização das estruturas moleculares e ligações químicas com a utilização da Realidade Aumentada.



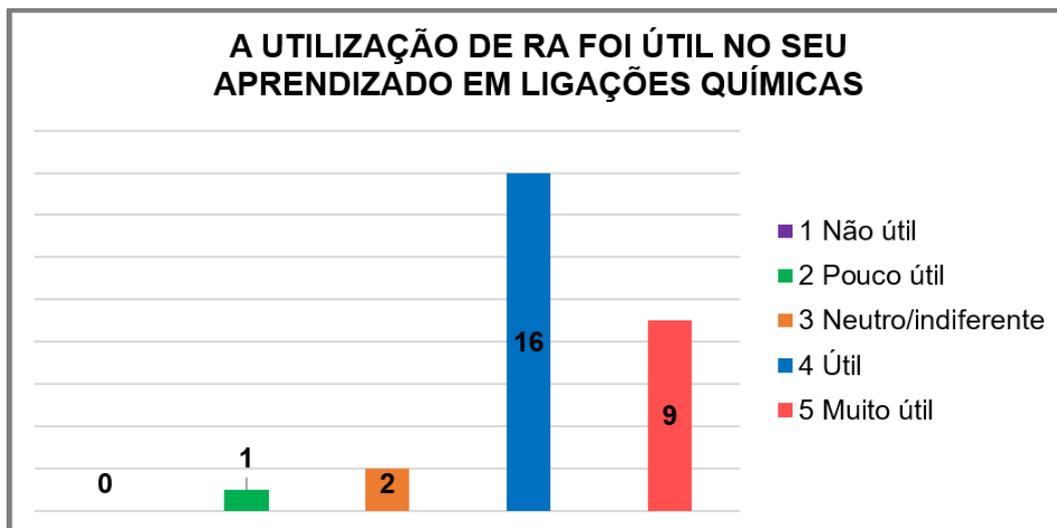
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O gráfico 8 exibe um resultado relevante: para mais da metade dos entrevistados (67,85%), a RA facilitou a visualização das estruturas moleculares e das ligações químicas. Dentre esses, 10 alunos afirmaram que a RA facilita muito esse processo, enquanto 9 alunos afirmaram que a RA facilita. Três alunos tiveram uma ocorrência neutra ou indiferente em relação a isso, enquanto 4 alunos afirmaram que a RA facilitou um pouco. Apenas dois alunos relataram que o RA não contribuiu para a visualização. O gráfico apresentado se relaciona fortemente ao comparativo anterior justamente porque responde à problematização inicial quanto à abstração e dificuldade de compreensão da linguagem química.

Montalbo (2021) diz que, a RA se mostra como uma ferramenta valiosa e eficaz, resultando no aprimoramento das habilidades espaciais e proporcionando uma experiência de aprendizagem positiva para os alunos envolvidos na disciplina de química.

Na sequência, a questão 5 indagou se os alunos consideraram que a utilização de Realidade Aumentada (RA) foi útil para o seu aprendizado em ligações químicas. O Gráfico 9 sintetiza as respostas obtidas a esta questão.

Gráfico 9 – Utilidade da Realidade Aumentada para o aprendizado de ligações químicas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a maioria dos entrevistados (89,28%), a utilização da RA foi útil para o aprendizado do conteúdo de ligações químicas. Apenas 2 alunos reagiram de maneira indiferente e somente um aluno afirmou que a RA foi pouco útil. Em comparação com o gráfico 8, há uma pequena divergência no padrão de respostas, já que para 25 alunos, a utilização da RA foi útil ou muito útil em seu aprendizado. No entanto, somente para 16 alunos a RA facilitou sua visualização das estruturas ou ligações químicas.

No intuito de compreender esse dado, infere-se que os alunos que afirmaram que a RA facilitou um pouco ou até que não facilitou na sua visualização das estruturas podem, assim como teorizado por Montalbo (2021), já ter construído um objeto modelo ou modelo mental sobre aquele assunto e ao se depararem com outra representação diferente da que conceberam ou imaginaram, precisam reformular o conceito. De acordo com Piva et al. (2021),

Modelos mentais são construídos a partir da percepção e, também, podem ser formados a partir de um discurso ou ser fruto de nossa imaginação. Derivam da estrutura percebida pelo indivíduo, de algum conhecimento anterior, e da necessidade de manter o sistema cognitivo isento de concepções contraditórias (PIVA et al., 2021, p. 5).

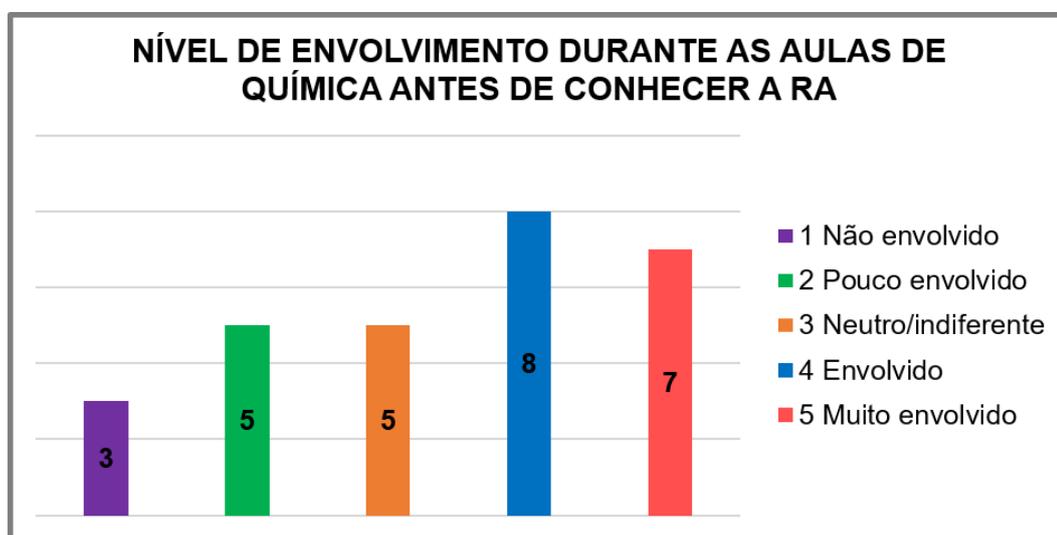
Os mesmos autores, no estudo que realizaram, verificaram que após o uso da RA, ao comparar desenhos e esquemas de modelos mentais feitos pelos alunos, boa parte deles possuía concepções equivocadas em relação ao elemento químico e as representações das estruturas moleculares, apresentando modelos incoerentes ao

modelo científico aceito. O mesmo estudo apontou que após a realização das atividades envolvendo RA, houve um significativo aprimoramento dos modelos mentais destes alunos, além do que, os modelos mentais apresentados passaram a ter representações mais elaboradas (PIVA et al., 2021).

Ainda que o nível de motivação dos alunos frente a uma nova tecnologia deva ser levado em consideração, cabe registrar que o pesquisador observou, em comparação com anos anteriores de docência do conteúdo, uma significativa melhora em relação à compreensão por parte dos alunos após uso da RA. Percebeu-se que os alunos conseguiram contextualizar melhor os conceitos apresentados.

Considerando a afirmação apresentada sobre a melhoria significativa na compreensão dos alunos após o uso da Realidade Aumentada (RA), torna-se relevante explorar como essa evolução na compreensão pode estar relacionada ao nível de envolvimento dos alunos nas aulas. Para isso, é crucial analisar os resultados do Gráfico 10 que avaliou o nível de envolvimento dos estudantes durante as aulas.

Gráfico 10 – Nível de envolvimento durante as aulas de químicas ANTES de conhecer a Realidade Aumentada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O gráfico 10 se destaca por sua distribuição equilibrada de respostas, com a maioria delas situadas dentro do desvio padrão. Oito alunos indicaram baixo envolvimento na aula, enquanto cinco responderam de maneira neutra, o que pode indicar duas interpretações: neutralidade em relação à pergunta ou consideração de que seu envolvimento na aula é indiferente ao aprendizado. Por outro lado, 15 alunos declararam estar envolvidos ou muito envolvidos na aula.

A análise dos resultados do Gráfico 10 revela *insights* importantes sobre o nível de envolvimento dos alunos na sala de aula e suas percepções em relação ao aprendizado. Conforme destacado por diversos pesquisadores, incluindo Costa (2023) em seu estudo sobre neurociência e aprendizagem, o envolvimento dos alunos é um fator crítico para o sucesso educativo. A autora diz que,

os indivíduos aprendem de formas diversas, em tempos distintos, e que é necessário interesse pessoal (uma motivação intrínseca) para que uma aprendizagem profunda ocorra. Ademais, os indivíduos aprendem de maneira única, subjetiva e intransferível, em momentos específicos, e são responsáveis pela própria aprendizagem (no sentido de que ninguém aprende por outrem) (COSTA, 2023, p. 5).

Deste modo, a diversidade de estilos de aprendizagem e o papel da motivação intrínseca estão intimamente ligados à individualidade da aprendizagem. No contexto do gráfico 10, é interessante notar que uma parcela significativa dos alunos declarou alto envolvimento na aula, o que pode ser um indicativo de uma experiência de aprendizado positiva ou que possuem alta motivação intrínseca. Assim, cabe elucidar a diferença entre motivação intrínseca e motivação extrínseca. Para Rezende e Neto (2022),

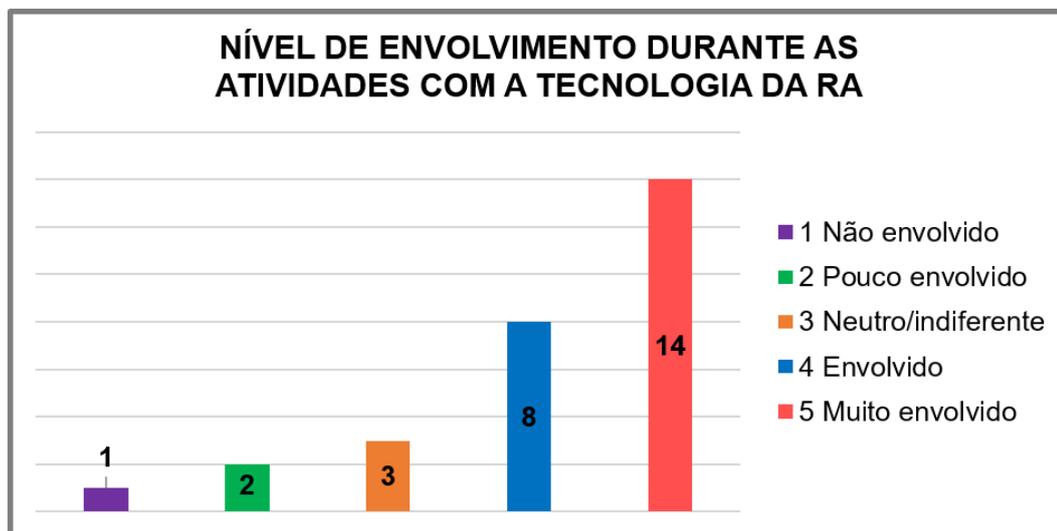
a motivação intrínseca é aquela que parte do interior do sujeito, de um desejo ou uma pulsão que o direciona ao objeto, uma ação que tem uma finalidade em si mesma [...]. Já a motivação extrínseca é aquela que parte de influências externas ao sujeito, do meio onde está inserido (REZENDE; NETO, 2022, p. 3).

Reforça-se, portanto, a ideia de que a motivação pessoal desempenha um papel crucial no processo de aprendizagem. No entanto, a presença de oito alunos que indicaram envolvimento baixo na aula não pode ser ignorada. Isso levanta a questão da necessidade de abordagens diferenciadas de ensino para envolver todos os alunos. A presença de alunos que respondem de maneira neutra também sugere a possibilidade de que alguns alunos possam se sentir indiferentes à relação entre seu envolvimento na aula e no aprendizado. Portanto, este resultado destaca a importância de não apenas medir o envolvimento dos alunos, mas também entender suas percepções e motivações subjacentes, a fim de desenvolver estratégias de ensino mais eficazes que atendam às necessidades de todos os alunos.

Considerando esta análise, é relevante examinar o Gráfico 11, que aborda o nível de envolvimento dos alunos durante as atividades com a tecnologia de Realidade Aumentada. Esta análise procura entender como a motivação pessoal e as

percepções dos alunos se relacionam com o uso dessa tecnologia especificamente, fornecendo *insights* adicionais para o aprimoramento das estratégias de ensino e engajamento dos estudantes.

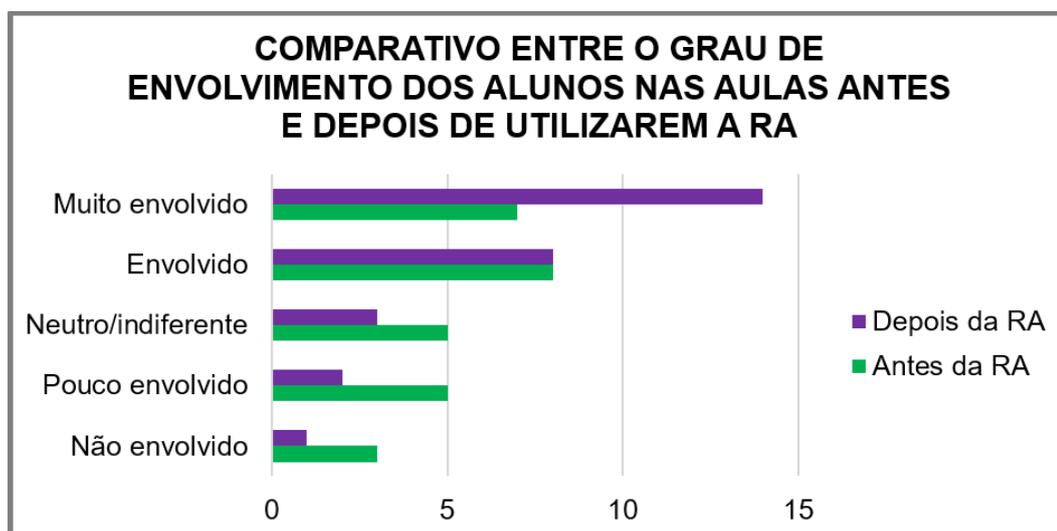
Gráfico 11 – Nível de envolvimento durante as aulas de químicas DEPOIS de conhecer a Realidade Aumentada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para estabelecer uma relação mais profunda entre o impacto da tecnologia de RA no envolvimento dos alunos, o Gráfico 12 apresenta uma análise comparativa entre a motivação dos estudantes antes de experimentarem a RA e durante o seu uso.

Gráfico 12 – Comparativo entre o grau de envolvimento dos alunos nas aulas, antes e depois de utilizarem a Realidade Aumentada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Uma análise comparativa entre o nível de motivação dos alunos antes de utilizarem a tecnologia de RA e durante o seu uso revela *insights* importantes sobre o impacto dessa abordagem inovadora no envolvimento dos estudantes. Antes de experimentarem a RA, a distribuição das respostas era a seguinte: 3 alunos não estavam envolvidos, 5 estavam pouco envolvidos, 5 se mostraram neutros ou indiferentes, 8 estavam envolvidos e 7 estavam muito envolvidos. No entanto, durante o uso da RA, observou-se uma mudança significativa nos níveis de motivação, com apenas 1 aluno não envolvido, 2 pouco envolvidos, 3 neutros ou indiferentes, 8 envolvidos e 14 muito envolvidos.

Essa transformação no nível de motivação dos alunos durante o uso da RA pode indicar que o uso dessa tecnologia desempenha um papel importante no engajamento dos estudantes. Ela não apenas despertou maior interesse, mas também promoveu um envolvimento mais ativo e positivo em relação ao processo de aprendizagem. Esses resultados enfatizam a eficácia da RA como uma ferramenta valiosa para motivar os alunos e realçam a importância de abordagens pedagógicas inovadoras para atender às necessidades e expectativas dos estudantes na era digital.

Os achados em relação a esta questão se coadunam com os textos estudados na revisão de literatura desta dissertação que já apontavam para o aumento do interesse, engajamento, motivação e satisfação dos alunos por meio de ambientes educacionais enriquecidos com aplicativos de RA.

No entanto, é importante relatar a importante contribuição de Dunleavy, Dede e Mitchell (2008) que refletem sobre o tema,

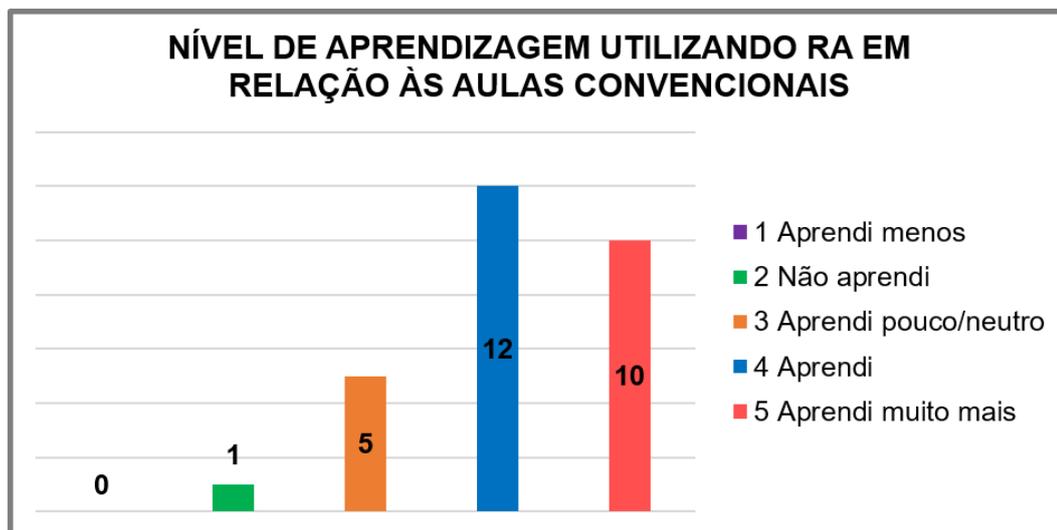
As descobertas deste estudo enfatizam como os alunos ficam engajados simplesmente usando ferramentas tecnológicas para aprender. Embora esta utilização continue a ser um fator de motivação, independentemente do conteúdo, devido ao efeito de novidade inerente, podemos prever com segurança que este envolvimento com a novidade irá desaparecer à medida que os alunos se habituam a este método de aprendizagem. Portanto, identificar características específicas do currículo e da tecnologia que os alunos consideraram envolventes ou desinteressantes é fundamental para o desenvolvimento futuro dos currículos de RA (DUNLEAVY; DEDE; MITCHELL, 2009).

Assim, faz-se necessário compreender as preferências dos alunos e as abordagens pedagógicas que melhor se adaptam à RA e a forma como a tecnologia pode ser integrada de maneira eficaz em diversos conteúdos curriculares.

Um exemplo relevante pode ser a personalização do aprendizado por meio da RA. Se os estudantes percebem que a tecnologia os ajuda a explorar tópicos de interesse pessoal, aprofundando sua compreensão e fornecendo *feedback* adaptativo, isso pode manter o engajamento mesmo após a fase inicial. A utilização da RA para a educação requer pesquisa contínua, feedback dos estudantes e uma abordagem dinâmica para o desenvolvimento de currículos de RA que sejam verdadeiramente envolventes e eficazes a longo prazo.

Adiante, foi perguntado aos alunos: qual seu nível de aprendizagem utilizando a RA em relação às aulas convencionais. O Gráfico 13 apresenta a síntese com estas respostas.

Gráfico 13 – Nível de aprendizagem na percepção dos próprios alunos utilizando Realidade Aumentada em relação às aulas convencionais.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Analisando o gráfico que apresenta as respostas dos alunos sobre o nível de aprendizagem utilizando a RA em comparação às aulas convencionais, é possível relacioná-lo com as análises anteriores. O fato de 1 aluno responder que "não aprendeu" pode ser considerado uma exceção, mas não invalida o impacto positivo da RA, conforme indicado nas análises anteriores.

A maioria dos alunos respondeu com níveis de aprendizagem positivos, com 12 alunos afirmando que "aprenderam" e 5 alunos afirmando que "aprenderam muito mais". Isso está em linha com as observações anteriores de uma melhoria significativa na compreensão após o uso da RA.

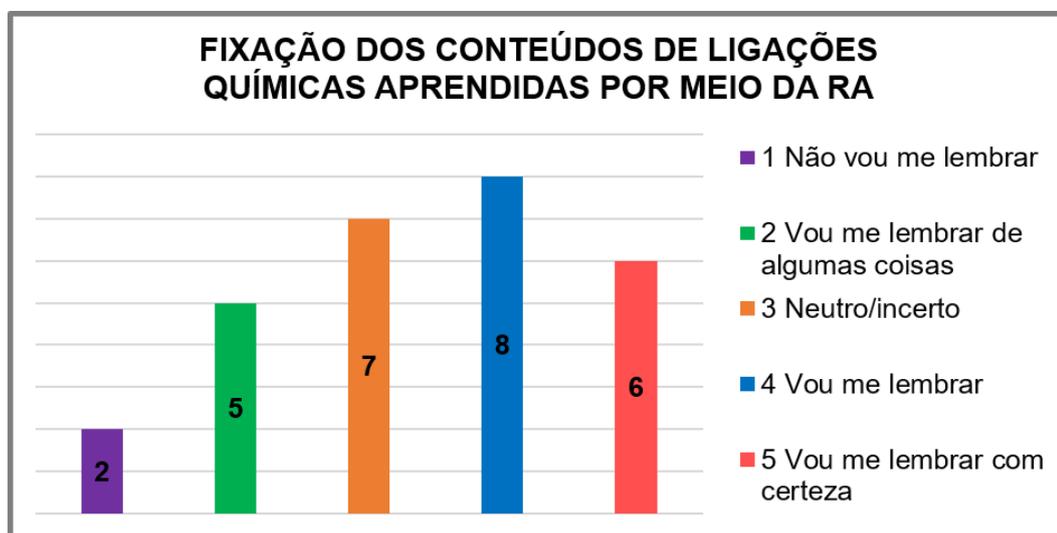
Podemos inferir que o desempenho do RA tem um papel importante em melhorar o envolvimento dos alunos, conforme indicado pelos gráficos anteriores,

onde eles conseguiram contextualizar melhor os conceitos apresentados. A RA, ao oferecer uma abordagem mais interativa e imersiva, parece ter proporcionado aos alunos uma experiência de aprendizado mais eficaz em comparação com as aulas convencionais. Portanto, o resultado Gráfico 13 corrobora as análises anteriores, destacando que a introdução da RA como uma ferramenta educacional parece ter sido benéfica para o aprendizado dos alunos e para o seu nível de envolvimento nas aulas.

Contribuindo com essa informação, Akçayir e Akçayir (2017, p.12), em sua revisão sistemática de literatura sobre as vantagens e desafios associados à realidade aumentada para a educação, afirmam que “a tecnologia da RA na educação leva à melhoria do desempenho de aprendizagem”. Os autores ainda dizem que (2017, p. 13), “a RA pode aumentar a motivação para a aprendizagem, ajudar os alunos a entenderem, aumentar a atitude positiva e aumentar a satisfação”.

A questão 9 indagou aos alunos: Você acredita que irá se lembrar dos conteúdos aprendidos por meio da RA? O Gráfico 14 apresenta a síntese com as respostas obtidas.

Gráfico 14 – Fixação dos conteúdos de ligações químicas aprendidos por meio da Realidade Aumentada na percepção dos alunos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Ao analisar o Gráfico 14, que apresenta as respostas dos alunos à pergunta sobre se eles acreditam que se lembrarão dos conteúdos aprendidos por meio da Realidade Aumentada (RA), é possível relacionar esses resultados com as conclusões anteriores fundamentadas nas análises dos gráficos anteriores e nas discussões sobre a utilização da RA como ferramenta educacional.

Observe-se uma diversidade de respostas dos alunos, variando desde "não vou me lembrar" até "vou me lembrar com certeza". Isso indica uma variedade de perspectivas e expectativas em relação à retenção de conhecimento por meio da RA.

Para interpretar esses resultados à luz do que já foi abordado até aqui, é fundamental considerar que o engajamento e a motivação dos alunos, que foram ressaltados como resultados positivos da utilização da RA, podem influenciar diretamente na capacidade de retenção de informações. Alunos mais envolvidos e motivados tendem a absorver e reter o melhor conhecimento.

A experiência imersiva e a interatividade da RA projetam um ambiente de aprendizagem que tende a cativar os estudantes, tornando o processo de aprendizagem mais atraente e, conseqüentemente, aumentando a probabilidade de que eles se lembrem dos conteúdos aprendidos. Nesta perspectiva, Mazzuco *et. al* (2021) afirmam que a RA torna mais fácil aprimorar a capacidade de raciocínio espacial e abstrato, simplificando o processo de percepção e memorização do conteúdo educacional.

Entretanto, é importante ressaltar que a motivação e o engajamento podem variar entre os alunos, conforme se observou nos gráficos anteriores. Alguns podem se beneficiar mais da abordagem da RA do que outros, dependendo de suas preferências de aprendizado e estilos individuais. Portanto, é fundamental que os educadores entendam essas diferenças e adaptem suas práticas para atender às necessidades variadas de seus alunos. Conforme ressalta Rezende e Neto (2022),

Na sala de aula, o professor tem de lidar com uma variedade de alunos com meios específicos de aprendizagem. Dessa forma, ele nem sempre será capaz de desenvolver uma prática que atenda a todos os estilos de aprendizagem, por isso a importância de uma postura flexível que se adapte às demandas dos alunos e às transformações recorrentes na dinâmica da sala de aula. Sublinha-se portanto, a partir dessas reflexões, a importância de se compreender a motivação como um processo multideterminado e de que seja estimulada por diferentes vieses (REZENDE; NETO, 2022, p. 5).

Assim, faz-se necessário compreender a práxis docente para avaliar como as estratégias pedagógicas possam ser aperfeiçoadas para se adequar às necessidades dos alunos, por meio de um olhar crítico para uma atuação articulada aos novos contextos.

Entretanto, a incerteza expressa por alguns alunos, representada na categoria "neutro/incerto", pode sugerir a necessidade de abordagens pedagógicas mais

eficazes para facilitar a consolidação do aprendizado. Isso pode envolver estratégias de revisão, prática ativa ou atividades que promovam a transferência do conhecimento adquirido por meio da RA para situações do mundo real.

Essa incerteza sugere que, apesar do potencial da RA em promover engajamento e motivação, ainda existem desafios a serem superados para garantir a consolidação efetiva do conhecimento adquirido.

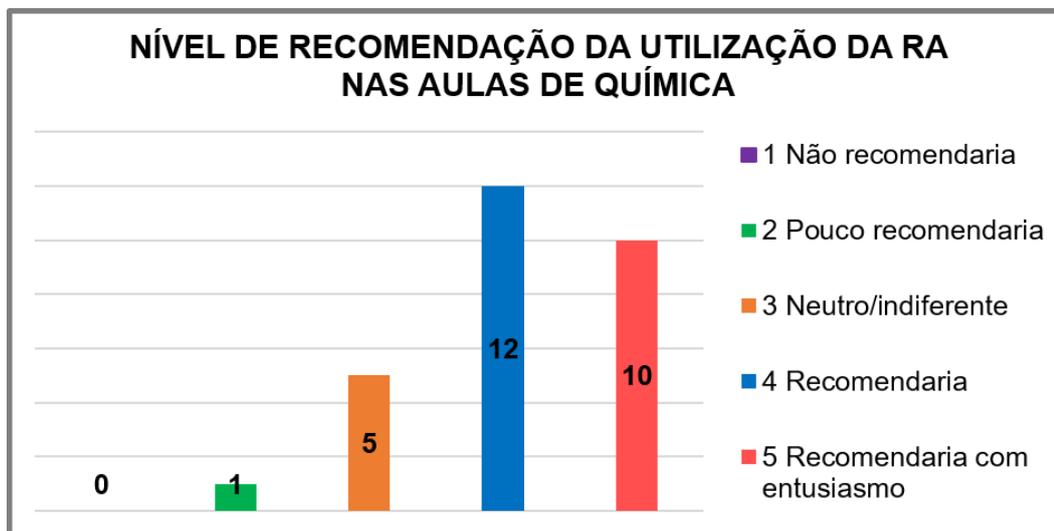
A pesquisa anteriormente revelou que o engajamento e a aplicação dos alunos desempenham um papel fundamental na retenção de informações. No entanto, esses fatores, por si só, podem não ser suficientes para garantir que o aprendizado seja eficaz e duradouro. É aqui que estratégias pedagógicas específicas precisam ser revistas e reavaliadas.

Um aspecto importante a considerar é a necessidade de incorporar atividades de revisão ao conteúdo, em específico para as ligações químicas que se constituem numa base de aprendizado para a química. A repetição espaçada, onde os alunos revisitam periodicamente os conteúdos aprendidos, tem se mostrado eficaz na consolidação da memória. Isso pode ser realizado por meio de questionários, exercícios práticos e avaliações regulares que integram os elementos do RA.

A necessidade de abordagens pedagógicas deve ir além da mera transmissão de informações, envolvendo revisão constante, exploração de diferentes escalas e a construção ativa de conexões para promover uma aprendizagem verdadeiramente significativa na química. Por essa ótica, Talanquer (2011) enfatiza que a aprendizagem significativa em química não se limita à simples tradução de símbolos ou representações, mas exige que os alunos construam conexões entre diferentes tipos de conhecimento, escalas e dimensões. Eles precisam diferenciar entre experiências, modelos e visualizações enquanto constroem uma compreensão integrada das substâncias químicas em diferentes níveis.

Por fim, a última questão do instrumento de pesquisa perguntou aos alunos se eles recomendariam a utilização da RA nas aulas de química. O Gráfico 15 sintetiza as respostas obtidas.

Gráfico 15 – Nível de recomendação da utilização da Realidade Aumentada nas aulas de química.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise do Gráfico 15 é fundamental para compreender a percepção dos próprios estudantes sobre o uso dessa tecnologia. A distribuição das respostas reflete uma variedade de opiniões, indo desde "pouco recomendação" até "recomendaria com entusiasmo". Os resultados destacam que a maioria dos alunos tem uma atitude positiva em relação à utilização da RA nas aulas de química. Cerca de 70,59% deles desejam recomendar o uso da tecnologia, e a maioria desses alunos (58,82%) até mesmo demonstram entusiasmo em fazê-lo.

No entanto, é importante observar que ainda existe um grupo significativo (29,41%) que se mantém neutro ou indiferente em relação à recomendação da RA. A presença de respostas como "pouco recomendação" e "neutro/indiferente" sugere que alguns alunos podem não ter experimentado ou percebido os benefícios da RA da mesma forma que seus colegas. Isso pode ser influenciado por fatores como a qualidade da implementação da RA nas aulas, a adaptação dos materiais de RA aos objetivos de aprendizagem ou às habilidades individuais de aprendizagem.

Mais uma vez, se reitera a importância de entender as necessidades e expectativas individuais dos alunos ao implementar a RA no ensino de química. Por outro lado, a constatação de que a maioria recomendaria essa tecnologia sugere que há uma base sólida de apoio para a continuidade e aprimoramento do uso da RA nas aulas. Os alunos que recomendam com entusiasmo o uso da RA provavelmente tiveram experiências positivas com essa tecnologia durante a aula. Para ilustrar, faz-se referência ao Gráfico 11, que medem o nível de envolvimento dos alunos durante

as atividades com a tecnologia de RA. Esse gráfico demonstrou que a maioria dos alunos esteve altamente envolvida durante o uso da RA.

Durante o Momento 5 da SD que utilizou a RA, o professor pesquisador percebeu que a maioria dos alunos estavam engajados, fazendo perguntas, explorando os conteúdos e a tecnologia em profundidade, tentando aplicar o que aprenderam nos momentos anteriores de maneira eficaz.

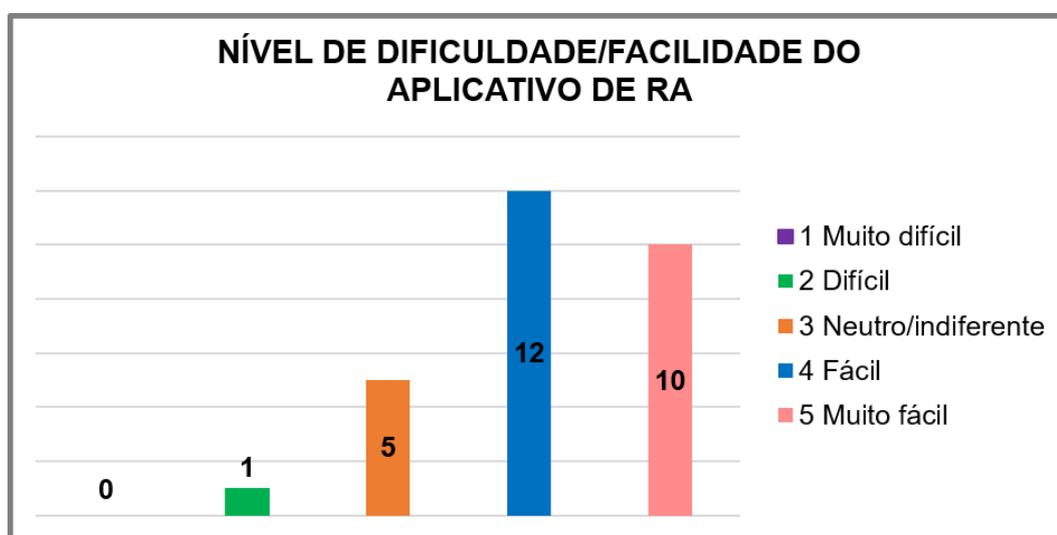
A análise dos gráficos indica que a RA teve um impacto positivo nas aulas de química. A maioria dos alunos apresentou alto envolvimento e disposição para recomendar entusiasticamente a RA, refletindo uma experiência de aprendizado positiva com benefícios tangíveis em envolvimento, compreensão e aplicação do conteúdo. Mais adiante, apresenta-se uma seção compilando os principais ganhos em relação à utilização da RA.

4.3.1 Interface e utilização do aplicativo de realidade aumentada

O último instrumento de pesquisa (constante no Apêndice E) continha uma pergunta fechada e duas perguntas abertas. A apresentação dos resultados segue a mesma lógica dos gráficos anteriores e para as perguntas abertas, foi feita uma categorização com os principais termos que surgiram nas respostas.

Assim, a questão 1 perguntou: Você considera que o aplicativo é fácil de ser utilizado? O Gráfico 16 apresenta a síntese com as respostas a essa questão.

Gráfico 16 – Nível de dificuldade/facilidade de utilização do aplicativo de Realidade Aumentada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise dos resultados do Gráfico 16, que trata sobre a facilidade de utilização do aplicativo, é particularmente interessante à luz do contexto dos alunos da primeira série do ensino médio que recentemente experimentaram um ensino híbrido durante a Pandemia da COVID-19 e têm acesso diário a smartphones. Esses fatores contextuais podem ajudar a explicar sobre como os alunos percebem e se adaptam às tecnologias educacionais, como o uso de aplicativos.

Primeiramente, é notável que a maioria dos alunos (70,59%) classificou o aplicativo como “fácil” ou “muito fácil” de ser utilizado. Isso pode indicar que os alunos dessa faixa etária estão cada vez mais familiarizados com a tecnologia e têm capacidade de interagir com aplicativos de forma intuitiva. Isso é consistente com a realidade atual e com a revisão de literatura presente nesta dissertação. Leite (2020) diz que,

A evolução das tecnologias móveis tem possibilitado o desenvolvimento de diversos tipos de projetos e atividades relacionadas com a aprendizagem móvel. Os ambientes ricos em tecnologias são potenciais de motivação para os estudantes, ao ativarem múltiplos sentidos e ao simularem realidades que podem transportar o mundo à universidade/escola, além de serem meios que devem facilitar a interação entre os envolvidos. A onipresença das tecnologias móveis entre os jovens tem se convertido em uma plataforma ideal para oferecer e gerar conteúdos educativos tanto formal como informalmente (LEITE, 2020, p. 2).

Deste modo, a onipresença das tecnologias móveis entre os jovens cria uma plataforma ideal para a implementação da RA, visto que os dispositivos móveis podem ativar múltiplos sentidos, proporcionar experiências imersivas e oferecer conteúdo educativo. A percepção dos alunos sobre a facilidade de uso do aplicativo destaca a influência do contexto tecnológico em que cresceram e dos contextos recentes de ensino e aprendizagem que vivenciaram em meio à Pandemia da COVID-19. Sobre essa temática, Fagundes, Silva e Bitencourt (2021) contribuem ao dizer que,

Os alunos do século XXI são conhecidos como a geração Z, geração da tecnologia, ligados diretamente à tecnologia desde seu nascimento. Partindo desse ponto, afirma-se a facilidade que estes possuem em manusear esses equipamentos, por essa razão, os alunos são muito abertos a utilização da tecnologia em prol do conhecimento em sala de aula. No entanto, deve-se levar em consideração que o uso desses aparelhos não deve destoar do foco principal que se deseja alcançar: o aprendizado, o uso do smartphone ou do computador decretam a linha tênue da atualidade: a concentração. É extremamente fácil desviar do foco da aula quando o celular está em mãos, tirando a atenção do aluno do que está sendo apresentado na aula. Nesse contexto, o docente deve intermediar o uso destes recursos de forma consciente e atenta, para que essa tecnologia seja uma grande aliada em

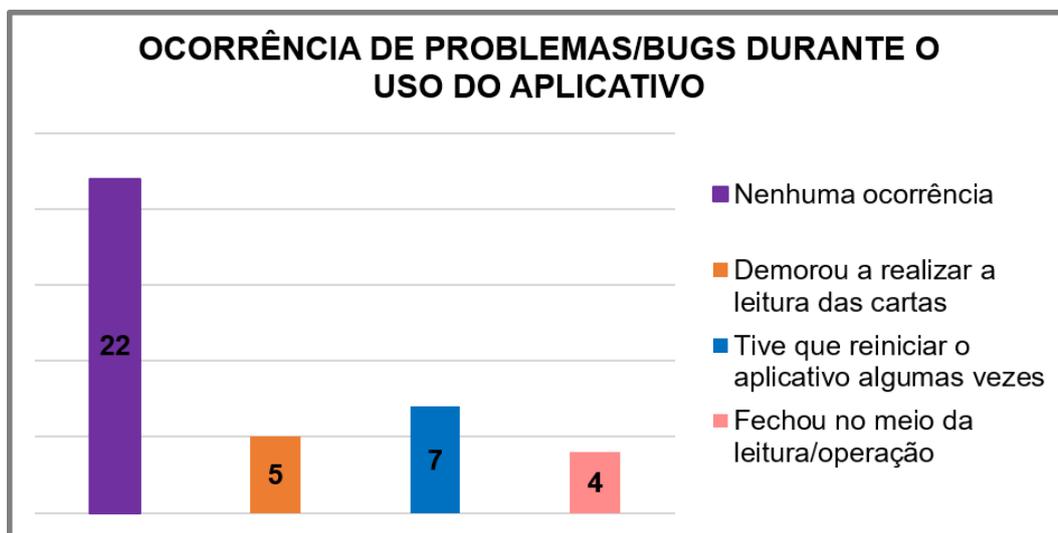
suas aulas, podendo ser encontradas de forma simples e gratuita (FAGUNDES; SILVA; BITENCOURT, 2021, p. 4).

Assim, para estes autores, a geração Z, imersa na tecnologia, mostra abertura em aprender/utilizar a tecnologia, como os *smartphones*, mas o equilíbrio entre tecnologia e concentração é crucial para o sucesso das aulas.

No entanto, a presença de respostas como "neutro/indiferente" (29,41%) e "difícil" (5,88%) indicaria que nem todos os alunos têm a mesma percepção positiva da facilidade de uso do aplicativo. Essas respostas sugerem a existência de variações individuais nas habilidades tecnológicas e nas preferências de aprendizado. Alguns alunos estariam mais habituados a determinados tipos de interfaces ou poderiam ter expectativas específicas em relação à usabilidade de aplicativos educacionais. A análise sobre este dado sugere que a introdução de tecnologia educacional, como aplicativos, deve ser acompanhada de suporte e orientação para atender a todos os níveis de habilidades dos alunos.

Seguindo adiante com o instrumento de pesquisa, foi-lhes perguntado se durante o uso de aplicativo teria ocorrido algum problema (*bug*). O Gráfico 17 apresenta a síntese com as categorias mais prevalentes.

Gráfico 17 – Ocorrência de problemas/*bugs* durante o uso do aplicativo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise do Gráfico 17, que aborda a ocorrência de problemas (*bugs*) durante o uso do aplicativo, é relevante para avaliar a estabilidade e a confiabilidade da tecnologia educacional empregada. Vale ressaltar que, dos 28 alunos pesquisados,

alguns marcaram mais de uma opção, demonstrando que eles enfrentaram múltiplos problemas ao usar o aplicativo.

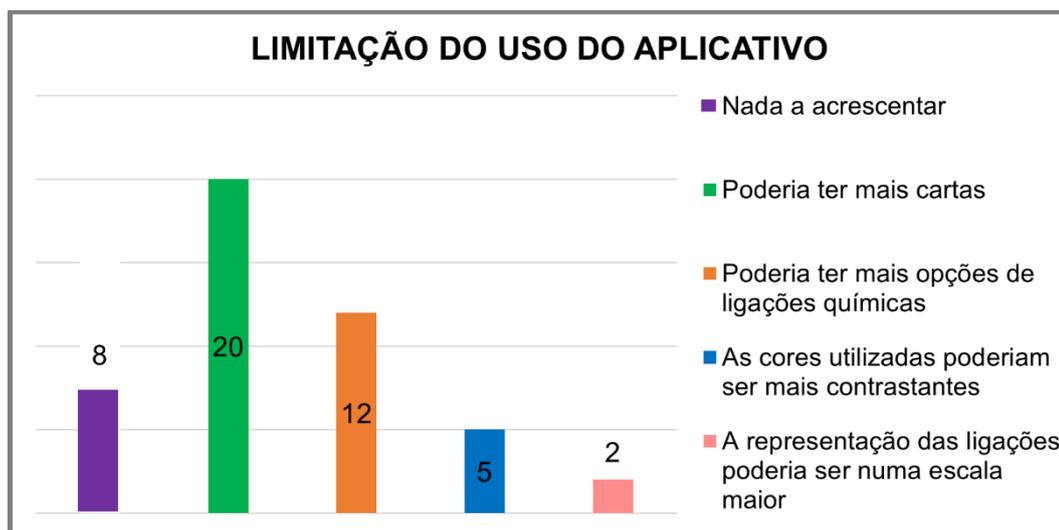
Primeiramente, é importante notar que a maioria dos alunos (22 de 28, ou 78,57%) relatou que não encontrou nenhuma ocorrência de bugs durante o uso do aplicativo. Isso sugere que, em sua maioria, a experiência com o aplicativo foi livre de interrupções temporárias, o que é um indicador positivo de estabilidade do software.

No entanto, a presença de outros relatos merece atenção. Cinco alunos (17,86%) mencionaram que o aplicativo demorou a realizar a leitura das cartas. Isso pode indicar um desafio relacionado ao desempenho do aplicativo, que pode ter afetado a experiência de uso, especialmente em termos de eficiência. Sete alunos (25%) relataram que tiveram que reiniciar o aplicativo algumas vezes. Esse problema pode estar relacionado à estabilidade do aplicativo, mostrando que ele pode ter travado ou apresentado comportamento inesperado, levando os alunos a reiniciarem-no para continuar a utilização. Sobre esse aspecto, Barreto, Ferreira e Santos (2022, p. 181) afirmam que “um dos fatores que mais são levados em consideração em um aplicativo é sua estabilidade. Um aplicativo que apresenta muitos travamentos tende a não ser usado com frequência e ser desinstalado pelo usuário em pouco tempo”. Além disso, quatro alunos (14,29%) mencionaram que o aplicativo foi fechado no meio da leitura ou operação. Esse problema pode ser particularmente frustrante, pois interrompeu abruptamente a experiência de aprendizado, prejudicando potencialmente a concentração e o engajamento dos alunos.

No entanto, ainda como afirmado por Barreto, Ferreira e Santos (2022, p. 183), “apesar de algumas limitações, acredita-se que os aplicativos de RA podem ser excelentes ferramentas metodológicas nas aulas de Química”.

Por fim, a última questão buscou identificar se os alunos encontraram alguma limitação no uso do aplicativo, solicitando que compartilhassem suas observações. É relevante destacar que a formulação dessa pergunta foi intencionalmente aberta, permitindo assim a coleta das percepções dos alunos, incentivando uma abordagem ativa na análise do aplicativo e, conseqüentemente, da tecnologia como um todo. O Gráfico 18 apresenta as respostas dadas pelos alunos pesquisados.

Gráfico 18 – Limitação do uso do aplicativo na percepção dos alunos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise das respostas dos alunos em relação às limitações do aplicativo educacional é esclarecedora para entender sua percepção sobre a ferramenta. Dentre as categorias de respostas mais notáveis, uma parcela significativa dos estudantes (8 de 28) declarou que "nada a acrescentar", indicando que, em sua visão, o aplicativo atendeu satisfatoriamente às suas necessidades e expectativas, refletindo uma experiência geral positiva.

Por outro lado, um grupo substancial de alunos (20 de 28) expressou o desejo de que o aplicativo "poderia ter mais cartas". Esse feedback sugere que eles anseiam por uma ampliação do conteúdo disponível na plataforma, indicando um desejo de uma gama mais diversificada de informações e recursos educacionais. Isso pode ser interpretado como um indicador de que os alunos estão em busca de uma experiência mais rica e abrangente. Como esta categoria se mostrou bastante preponderante e relevante, a título de ilustração, traz-se o recorte da fala dos alunos pesquisados sobre este tema.

O aplicativo é bom e eu consegui visualizar as principais ligações químicas. Mas é uma pena que tenha poucas cartas. O ideal seria ter todos os elementos da tabela. Acho que seria bem legal experimentar o que acontece quando a gente aproxima um elemento no outro (Aluno A).

A declaração desse aluno fornece uma importante abordagem sobre sua experiência com o aplicativo em relação às ligações químicas. O aluno começa elogiando o aplicativo, destacando que conseguiu visualizar as principais ligações químicas com sucesso. Isso sugere que o aplicativo foi eficaz em transmitir conceitos importantes relacionados a esse tópico específico, o que é uma indicação positiva da qualidade do conteúdo educacional fornecido. No entanto, o aluno expressa uma limitação percebida em relação à quantidade de conteúdo disponível, mencionando que "é uma pena que tenha poucas cartas". Essa observação se alinha com o feedback anterior de outros alunos que também desejavam mais conteúdo no aplicativo. O desejo por uma ampla variedade de elementos químicos da tabela periódica é mencionado como uma oportunidade perdida para enriquecer a experiência de aprendizagem dos usuários.

O aluno também levanta uma boa ideia ao mencionar que seria interessante "experimentar o que acontece quando a gente aproxima um elemento no outro". Essa sugestão aponta para um desejo de maior interatividade e exploração no aplicativo, possivelmente envolvendo simulações interativas de reações químicas ou propriedades dos elementos.

A fala do aluno B complementa essa ideia.

Eu gostei do aplicativo, mas eu esperava que fosse mais interativo, sabe, tivesse mais coisas "pra" fazer. Quem sabe se tivesse mais opções de ligações (Aluno B).

A fala do aluno B ajuda também a analisar outra categoria significativa. O estudo demonstrou que para 12 dos 28 alunos pesquisados, o aplicativo "poderia ter mais opções de ligações químicas". Isso evidencia um interesse específico na expansão do conteúdo relacionado às ligações químicas, demonstrando que houve um engajamento durante a aula e há uma busca por uma abordagem mais detalhada em relação à temática estudada.

Algumas respostas (5 de 28) enfatizaram questões de acessibilidade, sugerindo que "as cores poderiam ser mais contrastantes". Isso indica preocupações relacionadas à legibilidade e usabilidade do aplicativo, especialmente para alunos com deficiências visuais. Garantir que a interface seja acessível a todos é uma consideração importante na concepção de tecnologias educacionais. Por fim, um pequeno grupo de alunos (2 de 28) mencionou que "a representação das ligações

poderia ser numa escala maior". Isso indica um desejo por uma representação visual mais detalhada das ligações químicas, possivelmente para uma compreensão mais aprofundada desse conceito.

No contexto geral da pesquisa, essas observações ressaltam a importância de considerar a diversidade de necessidades e expectativas dos alunos ao desenvolver aplicativos educacionais. Além de fornecer conteúdo educacional sólido, é fundamental garantir que a interface seja acessível para todos os usuários.

Essas descobertas podem orientar aprimoramentos futuros no aplicativo, visando torná-lo mais inclusivo e enriquecedor para uma gama diversificada de estudantes, atendendo a diferentes estilos de aprendizado e necessidades de acessibilidade.

4.4 SÍNTESE DOS PONTOS POSITIVOS EM RELAÇÃO A UTILIZAÇÃO DE REALIDADE AUMENTADA PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS

A Figura 37 apresenta uma síntese dos ganhos percebidos na prática a partir da observação do professor pesquisador.

Figura 37 – Síntese dos principais resultados positivos em relação ao uso de Realidade Aumentada para o ensino do conteúdo de ligações químicas.

1	Confusão conceitual	Facilitou os alunos a entender a diferença conceitual entre os dois tipos de ligações químicas.
2	Visualização das estruturas moleculares	Facilitou a visualização das estruturas moleculares em 3D, tornando mais fácil compreender como os átomos estão dispostos em uma molécula.
3	Simulação interativa	As simulações feitas pelos alunos contribuíram para reduzir erros conceituais, já que demonstram como os átomos interagem nas ligações.
4	Feedback em tempo real	Os alunos conseguiram perceber em tempo real os erros e acertos sobre determinada ligação, corrigindo-os e propondo novas interações.
5	Compartilhamento de elétrons	Facilitou na visualização do compartilhamento e transferência de elétrons das ligações.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em relação a confusão conceitual entre os tipos de ligações químicas, iônicas e covalentes, destaca-se que a RA facilitou para que os alunos pudessem visualizar ambas as ligações estabelecendo boa diferenciação entre os conceitos. Montalbo (2021) salienta também que o conhecimento conceitual é fruto de intervenções instrucionais ao longo do processo. Deste modo, é importante refletir que a SD proposta, considerou em todos os momentos, um tempo dedicado à síntese e recapitulação dos conteúdos, justamente para que os conceitos viessem sendo construídos de maneira contextualizada e por meio de feedbacks em tempo real. Tal

abordagem se coaduna com o pensamento de Montalbo (2021) ao afirmar que as intervenções instrucionais contribuem para que os alunos desenvolvam habilidades conceituais específicas.

O segundo ponto a ser considerado, é que a RA forneceu aos alunos altos ganhos de aprendizagem e melhora na habilidade de cognição espacial. O pesquisador considera este ponto nevrálgico para este estudo, e tal achado se coaduna com achados análogos nos artigos que embasam esta dissertação. Fombona-Pascual, Fombona e Vicente (2022, p. 1863) afirmam que a RA é uma “ferramenta poderosa para facilitar a aquisição de competência em habilidades de visualização espacial”. O estudo capitaneado por Abdinejad et al. (2020), apontou que 83% dos alunos pesquisados concordaram que animações em 3D os ajudaram a visualizar melhor as conformações moleculares e 84% destes alunos admitiu que as animações em 3D são uma ferramenta valiosa no aprendizado e devem ser um recurso a ser utilizado juntamente com o livro didático.

Sari et al. (2021) afirmam que a RA tem o potencial de efetuar uma transformação no processo de aprendizagem da química, causando impactos positivos na compreensão conceitual, na capacidade de representação submicroscópica e na habilidade espacial.

O terceiro ponto de melhora observado se relaciona a simulação interativa. Rahmawati, Dianhar e Arifin (2021) afirmam que,

Os alunos não compreenderão os hidrocarbonetos a menos que primeiro compreendam as ligações químicas, a estrutura de Lewis e a forma molecular. Tudo isso está interligado, enriquecendo a compreensão dos alunos, bem como concretizando lições abstratas da química em suas mentes (RAHMAWATI; DIANHAR; ARIFIN, 2021, p. 4).

Por meio desta perspectiva, mais uma vez se ratifica a necessidade de desenvolver no aluno uma boa capacidade de visualização espacial. Além disso, estes autores afirmam que a possibilidade de simulação interativa em tempo real faz com que os alunos se sintam estimulados a participar ativamente da formação de seu conhecimento. A simulação interativa permite que os alunos examinem as ligações químicas de diferentes ângulos, o que pode culminou em um impacto significativo na compreensão dos alunos sobre a forma e a natureza das interações químicas (MONTALBO, 2021). A utilização de RA permite que os usuários trabalhem em paralelo, fazendo anotações ou manuseando outros documentos como os livros

didáticos, por exemplo. Essa hibridização entre objetos virtuais (RA) os objetos reais (caderno de anotações, livros didáticos) permitiu que os alunos pudessem anotar, corrigir e verificar conceitos em tempo real.

Assim, o quarto item de ganho considerável trata do *feedback* em tempo real. Quando os alunos têm a capacidade de perceber em tempo real seus erros e acertos enquanto interagem com o conteúdo, várias vantagens se destacam. Primeiramente, o *feedback* em tempo real oferece a oportunidade de correção imediata. Se um aluno comete um erro na compreensão de uma ligação química, por exemplo, ele pode identificar o erro imediatamente, entender onde errou e corrigir sua abordagem. Isso ajuda a evitar a consolidação de conceitos incorretos e a promover uma aprendizagem mais precisa. O *feedback* estimula o pensamento crítico e a autorregulação da aprendizagem. Os alunos são incentivados a refletir sobre suas respostas, avaliar sua compreensão e fazer ajustes, se necessário.

Por fim, o pesquisador observou que a visualização por meio da RA facilitou o conceito de compartilhamento de elétrons. Para a química, compreender o compartilhamento de elétrons é essencial para entender como os átomos se estabilizam através da formação de ligações covalentes. Quando os átomos compartilham elétrons, eles buscam alcançar configurações eletrônicas estáveis, preenchendo seus níveis de energia externos. Isso resulta na formação de moléculas estáveis e na capacidade de prever como essas moléculas interagem em reações químicas.

A visualização eficaz do compartilhamento de elétrons é importante porque permite que os alunos entendam como os átomos se aproximam e interagem para criar ligações covalentes. Eles podem ver como os elétrons são compartilhados entre os átomos para preencher seus níveis de energia, resultando em moléculas estáveis. Isso também ajuda a explicar a diferença entre átomos, moléculas e íons, fornecendo uma base sólida para a compreensão da química. Assim, os alunos podem ser capazes de ver como o grau de compartilhamento ou transferência de elétrons afeta a natureza da ligação e as propriedades das substâncias resultantes.

4.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Durante a pesquisa, foram apontadas algumas limitações do estudo e algumas questões que mereceriam ser mais bem estudadas em trabalhos futuros. Essas limitações devem ser consideradas ao interpretar os resultados coletados. Neste momento, destaca-se alguns pontos que necessitariam maior aprofundamento.

Como ponto inicial, é importante observar que os aplicativos de Realidade Aumentada (RA) ainda apresentam limitações de acesso, uma vez que são compatíveis apenas com sistemas operacionais *Android* da Google. Isso implica que estudantes que utilizam dispositivos com sistema operacional iOS da *Apple* não poderão desfrutar dessa tecnologia. No contexto da pesquisa, essa restrição não representou um obstáculo, uma vez que o pesquisador utilizou *tablets* com sistema operacional Android disponíveis na escola. No entanto, vale ressaltar que os alunos que possuem dispositivos iOS não terão a oportunidade de explorar essa tecnologia em suas casas, o que pode ser uma limitação significativa.

Além disso, como este estudo foi direcionado aos alunos, seria de extrema relevância avaliar como a RA seria percebida pelos professores. Alguns estudos sugerem que a limitação de uso da RA poderia apresentar alguns aspectos a serem considerados como: a falta de treinamento/desconhecimento da tecnologia por parte dos professores; tradicionalismo/tendência conservadora e; dificuldade em ministrar aulas com a presença de uma tecnologia sem perder o foco científico da aula. Deste modo, sugere-se que para estudos futuros, a perspectiva do professor também seja observada e avaliada.

Outro aspecto que suscitaria discussões importantes, seria a correlação entre a tecnologia da RA e as representações visuais existentes nos livros didáticos. Ao longo do trabalho, debruçamo-nos em compreender quais os principais desafios no ensino da química. Desde o início, trouxemos as contribuições de Johnstone e mais recentemente de Talanquer que tratam dos níveis macroscópico, simbólico e representacional da química. Assim, parece-nos fundamental debater a relação entre a representação pictórica contida nos livros didáticos e como a visualização das ligações químicas é representada por meio da RA. Ambas as representações (livro didático e RA) ainda precisariam ser mais bem detalhadas com o conhecimento científico que se espera que o aluno adquira.

Em relação aos níveis macroscópico, submicroscópico e representacional da química, os resultados obtidos por meio do instrumento de pesquisa indicaram uma tendência de estilo de aprendizagem específica para cada aluno, um aspecto que Johnstone já destacou em seu trabalho, referindo-se à capacidade cognitiva dos alunos de transitar entre os vértices do triângulo. Ao longo desta dissertação, esclarecemos como os professores podem contribuir para a aprendizagem dos alunos. No entanto, vale ressaltar que não foi estabelecida uma relação direta entre as características de aprendizagem dos alunos e seu desempenho. Para abordar esses aspectos de maneira mais abrangente, serão necessárias pesquisas mais amplas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta dissertação, foram explorados os impactos da Realidade Aumentada (RA) no ensino de ligações químicas, bem como as percepções dos alunos em relação à utilização de um aplicativo baseado nessa tecnologia. Os resultados deste estudo revelaram importantes descobertas sobre a eficácia da RA como ferramenta de ensino e as opiniões dos alunos sobre seu uso.

É importante destacar que o objetivo deste trabalho é investigar como a realidade aumentada pode contribuir para o aprendizado dos alunos do primeiro ano do ensino médio em relação aos conteúdos de ligações químicas. Portanto, os momentos propostos, com exceção da Momento 5, foram organizados com base no referencial teórico apresentado, que já faz parte da rotina do professor pesquisador.

Destaca-se como achado relevante o fato de que a RA despertou maior interesse e promoveu um envolvimento mais ativo e positivo por parte dos alunos no processo de aprendizagem. Através dessa tecnologia, os alunos tiveram a oportunidade de visualizar e interagir com as ligações químicas de maneira dinâmica e imersiva, o que tornou o aprendizado mais atraente e motivador. Além disso, observou-se uma melhoria substancial na compreensão dos conceitos após a utilização da RA, demonstrando o seu potencial como ferramenta educacional. Essa comparação foi feita com base na experiência de 10 anos do professor pesquisador lecionando o conteúdo sem a utilização dessa tecnologia. Com a utilização da RA, foi possível perceber que os alunos melhoraram a compreensão de conceitos básicos e fundamentais sobre ligações químicas. Outro aspecto relevante foi a importância do feedback em tempo real fornecido pela RA. Esse recurso permitiu que os alunos identificassem imediatamente erros e acertos, estimulando habilidades como o pensamento crítico e a autorregulação da aprendizagem. Além disso, é possível a correção imediata de concepções equivocadas, contribuindo para uma compreensão mais sólida das ligações químicas.

A fim de que a construção de conhecimento em química seja sólida e consistente, é necessário compreender como essa se processa. A elaboração de uma estrutura de conhecimentos em química ou em qualquer outra disciplina inicia na formação de conceitos, passa pela experimentação e observação para enfim culminar na apreensão do tema trabalhado.

Além disso, a motivação para aprender é um dos fatores mais importantes para o ensino e aprendizagem. Conforme ficou evidenciado, os professores enfrentam problemas quando seus alunos não têm essa motivação para estudar, ou quando agem com passividade frente aos temas apresentados. A pesquisa demonstrou que o uso da Realidade Aumentada despertou o interesse, permitindo uma boa contextualização da química, de modo geral. É inegável que um aluno que possui estímulos e motivação para estudar, consegue transpor barreiras ampliando não só o seu conhecimento, como também é capaz de formular novos questionamentos, ser mais criativo, crítico e envolvido nas questões da ciência.

Nesse contexto, também foi destacada a expectativa dos alunos em relação ao conteúdo e à interatividade. Eles expressaram o desejo de mais informações e interações mais expansivas, como a possibilidade de aproximar elementos químicos. Essa demanda sugere um interesse por uma experiência educacional mais rica e específica.

No entanto, é importante considerar as limitações deste estudo, como o tamanho da amostra e o contexto específico da pesquisa. Portanto, apesar dos resultados promissores, é fundamental levar em conta essas limitações ao interpretar as conclusões.

REFERÊNCIAS

ABDINEJAD, Maryam et al. Student perceptions using augmented reality and 3d visualization technologies in chemistry education. **Journal of Science Education and Technology**, v. 30, n. 1, p. 87-96, 2021.

AKÇAYIR, M, AKÇAYIR. Advantages and challenges associated with augmented for education: a systematic review of the literature. *Educ Res Rev* 20:1–11. 2017.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. *Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente*. Bookman Editora, 2018.

AUSUBEL, David P. Facilitating meaningful verbal learning in the classroom. **The Arithmetic Teacher**, v. 15, n. 2, p. 126-132, 1968.

BERNHOLT, Sascha et al. Digitising teaching and learning—Additional perspectives for chemistry education. **Israel Journal of Chemistry**, v. 59, n. 6-7, p. 554-564, 2019.

BOGDAN, Robert. C.; BIKLEN, Sari Knopp. Investigação Qualitativa em Educação. chemistry —triplell. **International Journal of Science Education**, v. 33, n. 2, p. 179-195, 2011.

COOPER, Melanie M.; STOWE, Ryan L. Chemistry education research—From personal empiricism to evidence, theory, and informed practice. *Chemical reviews*, v. 118, n. 12, p. 6053-6087, 2018.

COSTA, Raquel Lima Silva. Neurociência e aprendizagem. *Revista Brasileira de Educação*, v. 28, 2023.

DE CLASSE, Tadeu Moreira; DE CASTRO, Ronney Moreira; DE OLIVEIRA, Eduardo Gomes. Metaverso como um ambiente de aprendizado para o ensino híbrido. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, v. 26, n. 2, 2023.

DUNLEAVY, Matt; DEDE, Chris; MITCHELL, Rebeca. Recursos e limitações de simulações participativas e imersivas de realidade aumentada para ensino e aprendizagem. *Revista de Educação Científica e Tecnologia*, v. 18, p. 7-22, 2009.

ELMQADDEM, Nouredine. Augmented reality and virtual reality in education. Myth or reality?. **International journal of emerging technologies in learning**, v. 14, n. 3, 2019.

ESPANHOL, Evandro et al. **As concepções dos alunos do ensino médio sobre o conteúdo de ligações químicas: uma análise nos livros didáticos através da prática educacional do SESI/PR**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FERREIRA, Graça Regina Armond Matias; PEREIRA, Sandra Lucia Pita de Oliveira. **Realidade aumentada e ensino de ciências da natureza através de uma experiência interdisciplinar**. 2020.

FERREIRA, Lucas da Costa; SANTOS, Alcides Loureiro. Realidade virtual e aumentada: um relato sobre a experiência da utilização das tecnologias no Ensino de Química. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 1, 2020.

FOMBONA-PASCUAL, Alba; FOMBONA, Javier; VICENTE, Rubén. Augmented Reality, a Review of a Way to Represent and Manipulate 3D Chemical Structures. **Journal of chemical information and modeling**, v. 62, n. 8, p. 1863-1872, 2022.

GIFFONI, Joel de Souza; BARROSO, Maria Cleide da Silva; SAMPAIO, Caroline de Gois. Aprendizagem significativa no ensino de Química: uma abordagem ciência, tecnologia e sociedade. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, p. e13963416-e13963416, 2020.

GIL, A. C. Como elaborar projeto de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRANDO, John Wesley; AIRES, Joanez Aparecida; CLEOPHAS, Maria das Graças. O Uso da Realidade Aumentada no Ensino de Química sob a Ótica de Bachelard: Um Obstáculo ou uma Possibilidade?. **ARTEFACTUM-Revista de estudos em Linguagens e Tecnologia**, v. 19, n. 1, 2020.

GRANDO, John Wesley; CLEOPHAS, Maria das Graças. Aprendizagem Móvel no Ensino de Química: apontamentos sobre a Realidade Aumentada. **Química nova na escola: Educação em Química e Multimídia**, v. 43, n. 2, p. 148-154, 2021.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química nova na escola**, v. 31, n. 3, p. 198-202, 2009.

HANAFI, Anasse; ELAACHAK, Lotfi; BOUHORMA, Mohamed. Augmented reality application in laboratories and learning procedures. In: **The Proceedings of the Third International Conference on Smart City Applications**. Springer, Cham, 2019. p. 157-167. In.: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. (org.). **Introdução a Realidade**

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Apresentação dos resultados do PNAD Contínua 2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2019b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html?=&t=downloads>. Acesso em: 20 jul. 2022.

IQBAL, Muhammad Zahid; MANGINA, Eleni; CAMPBELL, Abraham G. Desafios atuais e direções futuras de pesquisas em realidade aumentada para educação. *Tecnologias Multimodais e Interação*, v. 6, n. 9, pág. 75, 2022.

IRWANSYAH, Ferli Septi et al. Augmented reality (AR) technology on the android operating system in chemistry learning. In: **IOP conference series: Materials science and engineering**. IOP Publishing, 2018. p. 012068.

JOHNSTONE, Ales H. Chemistry teaching-science or alchemy? 1996 Brasted lecture. **Journal of chemical education**, v. 74, n. 3, p. 262, 1997.

JOHNSTONE, Alex H. The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. **Journal of chemical education**, v. 70, n. 9, p. 701, 1993.

KLOPFER, Eric; SQUIRE, Kurt. Environmental Detectives—the development of an augmented reality platform for environmental simulations. **Educational technology research and development**, v. 56, n. 2, p. 203-228, 2008.

KYE, B., HAN, N., KIM, E., PARK, Y., & JO, S. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*, 18(32), 1-13. 2021. <https://doi.org/10.3352/jeehp.2021.18.32>.

LATIPAH, J. et al. Analysis of student's mental model through representation chemistry textbooks based on augmented reality. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2021. p. 012050.

LEAL, Luana Pires Vida; BALDAQUIM, Matheus Junior. A promoção da alfabetização científica prática avaliada por meio dos níveis representacionais em um livro didático de química. *Scientia Naturalis*, v. 3, n. 4, 2021.

LEÃO, Dayana Fernandes; SANTOS, Thyego Mychell Moreira; DE SOUZA, Rita Rodrigues. O olhar do aluno sobre o contexto do estudo da química e a possibilidade de transformação. *Revista de Educação Pública*, v. 29, 2020.

LEITE, Bruno Silva. Aplicativos de realidade virtual e realidade aumentada para o ensino de Química. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC)**, v. 6, p. e097220-e097220, 2020.

LEITE, Bruno Silva. Tecnologias no ensino de química: passado, presente e futuro. **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 3, 2019.

LEITE, Bruno Silva. **Tecnologias no ensino de química: teoria e prática na formação docente**. Appris Editora e Livraria Eireli-ME, E-book. 2018.

LOCATELLI, Aline et al. Aplicativos para dispositivos móveis no ensino Química: uma pesquisa na literatura estrangeira. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e699997758-e699997758, 2020.

MACHADO, Donizette Monteiro et al. Ligações químicas: a utilização da modelagem como estratégia de ensino em um cursinho pré-vestibular, na ilha de Marajó,

Pará. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 2, p. 440-448, 2018.

MAZZUCO, Alex Eder da Rocha et al. Revisão de literatura sobre o uso da realidade aumentada no ensino de química. **RENOTE: Novas Tecnologias na Educação**. Vol. 19, n. 2 (2021), p. 402-412, 2021.

MELO, Mayara Soares de; SILVA, Roberto Ribeiro da. Os três níveis do conhecimento químico: dificuldades dos alunos na transição entre o macro, o submicro e o representacional. *Revista Exitus*, v. 9, n. 5, p. 301-330, 2019.

MESQUITA, James de Melo; MESQUITA, Lidivânia Silva Freitas; BARROSO, Maria Cleide da Silva. Softwares educativos aplicados no Ensino de Química: Recursos didáticos potencializadores no processo de aprendizagem. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e458101115278-e458101115278, 2021.

MONTALBO, Sherryl M. eSMART Teaching and learning material in chemistry: Enhancing spatial skills thru augmented reality technology. **The Palawan Scientist**, v. 13, n. 1, p. 1-1, 2021.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa subversiva. **Série-Estudos-na Educação**. SBC, 2020. p. 139-146.

NASCIMENTO, Géssica do. Realidade aumentada no ensino da química submicroscópica: alguns aspectos a serem considerados para o planejamento de atividades na educação básica. 2021.

NASCIMENTO, Gessica; MOREIRA, José Cláudio Fonseca; PIZZATO, Michelle Camara. Ensino de Química submicroscópica: percepções dos professores sobre o uso da realidade aumentada nas aulas de Química. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 12, n. 4, p. 1-25, 2021.

OLIVEIRA, Pablo Rodrigo Bes. Pokémon GO: discutindo Dispositivos e a pedagogia dos jogos eletrônicos. *Texto Livre*, v. 10, n. 2, p. 50-65, 2017.

PAULETTI, Fabiana. Entraves ao ensino de química: apontando meios para potencializar este ensino. **Revista Areté| Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, v. 5, n. 8, p. 98-107, 2017.

PEREIRA, Regina Mara Silva; ANDRADE, Sirlene Neves. Interações e Transformações em Química: Níveis de Conhecimento Necessários Para Alcançar uma Aprendizagem Significativa. **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, v. 19, n. 2, p. 209-216, 2018.

PEREIRA, Zandara et al. ARTOM-Aplicativo para Ensino de Química em Realidade Aumentada. In: **Anais dos Workshops do X Congresso Brasileiro de Informática Periódico do Programa de Pós-Graduação em Educação da UCDB**, 2006.

PIVA, Gabriela Martins et al. O uso do smartphone no desenvolvimento de modelos mentais dos alunos no ensino de Química: Aplicativos de simulação virtual e

realidade aumentada. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 12, n. 1, p. 1-24, 2021.

POZO, J. L.; CRESPO, MAG. *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SACRISTÁN. **J. Gimeno. O currículo: uma reflexão sobre a prática. Trad. Ernani F, da Rosa**, v. 3.

RAHMAWATI, Yuli; DIANHAR, Hanhan; ARIFIN, Fadhillah. Analysing students' spatial abilities in chemistry learning using 3D virtual representation. **Education Sciences**, v. 11, n. 4, p. 185, 2021.

REZENDE, Marília Gabriela Costa; NETO, Wilmar Ferreira Neves. A MOTIVAÇÃO PARA O APRENDIZADO. In: *Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar*. 2022.

ROCHA, Nágila Menezes et al. A realidade aumentada como recurso auxiliar para a aprendizagem significativa de geometria molecular. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e21710109027-e21710109027, 2021.

RODRIGUES, Heriberto. TICS NO ENSINO DE QUÍMICA EM TEMPOS DE PANDEMIA. **II CONIED - Congresso Online Internacional de Educação**. 2021.

SANTOS, Jailson Alves. O triplete conceitual da química e as dimensões do conhecimento químico: uma crítica ao Triângulo de Johnstone. **Libro de resúmenes de las II Jornadas de Historia, Filosofía y Didáctica de la**, p. 10. 2020.

SARI, I. et al. Augmented reality technology as a tool to support chemistry learning: a scoping review. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2021. p. 012191.

SILVA, Caio de Souza; NETO, Hélio da Silva Messeder. **O ensino de química como unidade dialética entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos: para além do triângulo do Johnstone**. **Revista Exitus**, v. 11, p. e020201-e020201, 2021.

SILVA, Fernando César et al. Relação entre as dificuldades e a percepção que os estudantes do ensino médio possuem sobre a função das representações visuais no ensino de Química. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 27, 2021.

TALANQUER, Vicente. Macro, submicro e simbólico: as muitas faces do "triplete" da química. **Revista Internacional de Educação em Ciências**, v. 2, pág. 179-195, 2011.

TAVARES, Nathalia da Silva et al. Análise da percepção de estudantes do Ensino Médio acerca do processo de aprendizagem em Química. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, p. e51110212774-e51110212774, 2021.

TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva; KIRNER, Claudio. Realidade virtual. **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. [Internet]. Porto Alegre: Editora SBC, p. 9-25, 2018.

UPAHI, Johnson Enero; RAMNARAIN, Umesh. Representations of chemical phenomena in secondary school chemistry textbooks. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 20, n. 1, p. 146-159, 2019.

YAMTINAH, Sri, et al. Examining the Content Validity of Android-Based Augmented Reality Media for Chemical Bonding using Rasch Model. **Jurnal Penelitian Pendidikan IPA**, v. 7, n. Special Issue, p. 320-325, 2021.

APÊNDICES

APÊNDICE A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**Estudante**

Prezado(a) Estudante,

Este Termo é um convite para que você participe de uma pesquisa de caráter acadêmico, vinculada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional- PROFQUI – Polo UFRGS. Como a sua participação é fundamental, solicitamos que você assine esse termo após a leitura.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**ESTUDANTE**

Este termo refere-se à pesquisa intitulada **REALIDADE AUMENTADA NO ENSINO DE QUÍMICA: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES IÔNICAS E COVALENTES NA PRIMEIRA SÉRIE DO ENSINO MÉDIO**, objeto da Dissertação de Mestrado de autoria de **LAERCIO RODRIGUES DOEGE JUNIOR** sob orientação da Professora Dra. **SILVANA INÊS WOLKE**. Essa pesquisa está vinculada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional- PROFQUI – Polo UFRGS. Participarão da pesquisa, os estudantes de Ensino Médio, do Centro de Educação Profissional Industrial de Lages, que compõem as turmas da disciplina de Química, ministradas pelo Professor Laercio Rodrigues Doege Junior, que é o pesquisador.

O objetivo da pesquisa será analisar a utilização, em sala de aula, da sequência didática **“Realidade Aumentada para o ensino de ligações iônicas na primeira série do ensino médio”**. Para tanto, serão colhidos dados a partir de questionários elaborados pelo pesquisador antes e depois da utilização da sequência. Os resultados serão utilizados para a redação da dissertação, elaboração de trabalhos e artigos de natureza científica/acadêmica. A identidade do participante será mantida em sigilo.

A participação nesse estudo envolve o preenchimento de questionários. O participante poderá se recusar a participar ou mesmo desistir em qualquer momento, sem qualquer

prejuízo. Contudo, solicita-se a colaboração para que sejam obtidos melhores resultados na pesquisa.

Essa pesquisa não oferece risco ou benefício direto ao participante. O participante não terá nenhuma despesa e não receberá pagamento ao participar da pesquisa. Todas as informações serão confidenciais, interessando apenas dados coletivos e não particularidades de cada participante.

Em caso de dúvidas, você poderá solicitar esclarecimentos a qualquer momento diretamente ao pesquisador, Professor Laercio Rodrigues Doege Junior, pelo telefone (49) 98840-4349 ou *e-mail* doegejr@gmail.com ou para a Professora Silvana Inês Wolke, pelo telefone 3308-9735 ou *e-mail*: silvana.wolke@ufrgs.br.

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida, participarei desta pesquisa.

Nome do Participante:

Data de Nascimento:

Assinatura do Participante:

Lages, de de 2022.

Assinatura do Pesquisador:

APÊNDICE B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**Pais ou Responsáveis****Prezados Pais ou Responsáveis,**

Este Termo é um convite para que seu filho/filha participe de uma pesquisa de caráter acadêmico, vinculada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional- PROFQUI – Polo UFRGS. Como a participação de seu filho/filha é fundamental, solicitamos sua permissão para que ele/ela participe da pesquisa mediante assinatura deste termo após a leitura.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**ESTUDANTE**

Este termo refere-se à pesquisa intitulada **REALIDADE AUMENTADA NO ENSINO DE QUÍMICA: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES IÔNICAS E COVALENTES NA PRIMEIRA SÉRIE DO ENSINO MÉDIO**, objeto da Dissertação de Mestrado de autoria de **LAERCIO RODRIGUES DOEGE JUNIOR** sob orientação da Professora Dra. **SILVANA INÊS WOLKE**. Essa pesquisa está vinculada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional- PROFQUI – Polo UFRGS. Participarão da pesquisa, os estudantes de Ensino Médio, do Centro de Educação Profissional Industrial de Lages, que compõem as turmas da disciplina de Química, ministradas pelo Professor Laercio Rodrigues Doege Junior, que é o pesquisador.

O objetivo da pesquisa será analisar a utilização, em sala de aula, da sequência didática **“Realidade Aumentada para o ensino de ligações iônicas na primeira série do ensino médio”**. Para tanto, serão colhidos dados a partir de questionários elaborados pelo pesquisador antes e depois da utilização da sequência. Os resultados serão utilizados para a redação da dissertação, elaboração de trabalhos e artigos de natureza científica/acadêmica. A identidade do participante será mantida em sigilo.

A participação nesse estudo envolve o preenchimento de questionários. O participante poderá se recusar a participar ou mesmo desistir em qualquer momento, sem qualquer prejuízo. Contudo, solicita-se a colaboração para que sejam obtidos melhor resultados na pesquisa.

Essa pesquisa não oferece risco ou benefício direto ao participante. O participante não terá nenhuma despesa e não receberá pagamento ao participar da pesquisa. Todas as informações serão confidenciais, interessando apenas dados coletivos e não particularidades de cada participante.

Em caso de dúvidas, você poderá solicitar esclarecimentos a qualquer momento diretamente ao pesquisador, Professor Laercio Rodrigues Doege Junior, pelo telefone (49) 98840-4349 ou *e-mail* doegejr@gmail.com ou para a Professora Silvana Inês Wolke, pelo telefone 3308-9735 ou *e-mail*: silvana.wolke@ufrgs.br.

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida, permito que meu filho/filha participe desta pesquisa

Nome do Participante:

Nome do Responsável:

Assinatura do Responsável:

Lages, de de 2022.

Assinatura do Pesquisador:

APÊNDICE C

INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS – COMPREENSÃO EM QUÍMICA

SEÇÃO A – QUÍMICA EM GERAL			
1. Qual o seu nível de compreensão sobre a disciplina de química em geral?			
5 Muito compreensível		2 Compreendo pouco	
4 Compreendo		1 Não compreendo	
3 Não compreendo			
2. Quais fatores você considera que dificultam a sua compreensão da disciplina de química em geral?			
Dificuldade de entendimento da tabela periódica		Dificuldade de entender as fórmulas químicas	
Metodologia adotada pelos professores		Os livros didáticos são de difícil compreensão	
Não tenho boa base em matemática e/ou física		Não consigo interpretar os enunciados	
Os conteúdos são muito complexos		Os conteúdos são muito abstratos	
Não compreendo a teoria		Não compreendo o que é um átomo	
Outro:			

APÊNDICE D

INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS – REALIDADE AUMENTADA

SEÇÃO B – REALIDADE AUMENTADA (RA)			
1. Você já havia utilizado algum aplicativo de Realidade Aumentada (RA) antes?			
Sim		Não	
2. Qual o seu nível de compreensão sobre ligações químicas ANTES de utilizar a Realidade Aumentada (RA)?			
5 Muito compreensível		2 Compreendi pouco	
4 Compreendi		1 Não compreendi	
3 Neutro/indiferente			
3. Qual o seu nível de compreensão sobre ligações químicas DEPOIS de utilizar a Realidade Aumentada (RA)?			
5 Muito compreensível		2 Compreendi pouco	
4 Compreendi		1 Não compreendi	
3 Neutro/indiferente			
4. A Realidade Aumentada (RA) facilitou a visualização das estruturas moleculares e das ligações químicas?			
5 Facilitou muito		2 Facilitou um pouco	
4 Facilitou		1 Não facilitou	
3 Neutro/indiferente			
5. Você considera que a utilização de Realidade Aumentada (RA) foi útil para o seu aprendizado em ligações químicas?			
5 Muito útil		2 Pouco útil	
4 Útil		1 Não útil	
3 Neutro/indiferente			
6. Qual o seu nível de envolvimento durante as aulas ANTES de conhecer a Realidade Aumentada (RA)?			
5 Muito envolvido		2 Pouco envolvido	
4 Envolvido		1 Não envolvido	
3 Neutro/indiferente			
7. Qual o seu nível de envolvimento durante as atividades com a tecnologia de Realidade Aumentada (RA)?			
5 Muito envolvido		2 Pouco envolvido	
4 Envolvido		1 Não envolvido	
3 Neutro/indiferente			
8. Qual o seu nível de aprendizagem utilizando a Realidade Aumentada (RA) em relação às aulas convencionais?			
5 Aprendi muito mais		2 Não aprendi	
4 Aprendi		1 Aprendi menos	
3 Aprendi pouco			

9. Você acredita que irá se lembrar dos conteúdos aprendidos por meio da Realidade Aumentada (RA)?			
5	Vou me lembrar com certeza		2 Vou me lembrar de algumas coisas
4	Vou me lembrar		1 Não vou me lembrar
3	Neutro/incerto		
10. Você recomendaria a utilização da Realidade Aumentada (RA) nas aulas de química?			
5	Recomendaria com entusiasmo		2 Recomendaria pouco
4	Recomendaria		1 Não recomendaria
3	Neutro/indiferente		

APÊNDICE E

INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS – INTERFACE DO APLICATIVO

SEÇÃO C – INTERFACE DO APLICATIVO			
1. Você considera que o aplicativo é fácil de ser utilizado?			
5 Muito fácil		2 Difícil	
4 Fácil		1 Muito difícil	
3 Neutro/indiferente			
2. Relate se ocorreu algum problema (<i>bug</i>) durante o uso do aplicativo?			
<i>(Questão aberta)</i>			
3. Você verificou alguma limitação de uso do aplicativo? Se sim, relate.			
<i>(Questão aberta)</i>			

APÊNDICE F

GUIA DE PERGUNTAS	
Vidros e tijolos refratários	Como você acredita que os átomos estão unidos nos vidros e nos tijolos refratários? Esses materiais têm mais características de ligações iônicas ou covalentes? Porque?
Madeira, papel e fibras vegetais	Qual tipo de ligação você acha que é predominantemente na estrutura de madeira, papel e fibras vegetais? Como a estrutura covalente ou iônica desses materiais pode afetar suas propriedades?
Nanotubo de carbono	O que você acha que possibilita a formação de nanotubos de carbono? Esses nanotubos têm ligações iônicas, covalentes ou ambas? Como as ligações químicas nos nanotubos de carbono contribuem para suas propriedades extraordinárias, como sua resistência e condutividade elétrica?
Plásticos e borrachas	Vocês imaginam que tipos de ligações estão presentes em plásticos e borrachas? Essas ligações envolvem as propriedades metalúrgicas desses materiais? Como a natureza das ligações afeta a capacidade de reutilizar esses materiais?
Polímeros Condutores e Componentes Eletrônicos	Como as ligações químicas nos polímeros condutores podem influenciar sua condutividade elétrica? E nos materiais usados em componentes eletrônicos, como as ligações importantes para seu funcionamento?
Creme dental	Como as ligações químicas nos ingredientes do creme dental contribuem para sua eficácia na remoção de manchas e resíduos dos dentes? Quais tipos de ligações químicas estão presentes nos componentes do creme dental que interagem com a superfície dos dentes? Como essas ligações afetam o processo de limpeza? Como as ligações químicas nos ingredientes do creme dental influenciam sua textura e sabor?
Fermento químico Giz Pó químico Fertilizantes nitrogenados	Qual é a diferença entre ligações covalentes e ligações iônicas, e como esses dois tipos de ligações químicas podem afetar as propriedades dos materiais? Como as ligações químicas na estrutura dos materiais mencionados influenciam sua resistência, flexibilidade e outras características físicas?