



REALIDADE AUMENTADA APLICADA NO ENSINO DE ENGENHARIA  
QUÍMICA

Suzane Carvalho Rufino

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador: Henrique Poltronieri Pacheco

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2025

REALIDADE AUMENTADA APLICADA NO ENSINO DE ENGENHARIA  
QUÍMICA

Suzane Carvalho Rufino

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA QUÍMICA.

Orientador: Henrique Poltronieri Pacheco

Aprovada por: Prof. Henrique Poltronieri Pacheco  
Prof. Argimiro Resende Secchi  
Profa. Carla Luciane Manske Camargo  
Profa. Kese Pontes Freitas Alberton

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
FEVEREIRO DE 2025

Rufino, Suzane Carvalho

Realidade Aumentada Aplicada no Ensino de Engenharia Química/Suzane Carvalho Rufino. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2025.

XVII, 146 p.: il.; 29, 7cm.

Orientador: Henrique Poltronieri Pacheco

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Química, 2025.

Referências Bibliográficas: p. 75 – 82.

1. Engenharia Química.
2. Realidade Aumentada.
3. Modelagem e Simulação.
4. Metodologias de Ensino.
5. Desenvolvimento de Software. I. Pacheco, Henrique Poltronieri. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Química. III. Título.

*"Não a nós, Senhor, não a nós,  
mas ao teu nome dá glória, por  
causa da tua benignidade e da  
tua verdade."  
(Salmo 115.1)*

# Agradecimentos

Em primeiro lugar não poderia agradecer a qualquer outro ser, se não a Deus. Ele que me escolheu desde o ventre de minha mãe e me separou para Si. Sem Ele nada poderia ser realizado. Então a Ele toda honra, toda glória e todo o louvor porque é tudo por Ele e para Ele. Quando tudo parecia estar perdido Ele estava lá ao meu lado e Seu Santo Espírito me manteve de pé. Obrigada, Pai, por todas as bênçãos e por, mesmo eu sendo pecadora, nunca ter desistido de mim.

Logo abaixo de Deus, estão meus pais e meus irmãos. Minha família. Minha base. Aqueles com quem eu sei que posso contar independente da situação. Aqueles que sempre estiveram ao meu lado me incentivando e me apoiando. Agora ainda tendo a honra de ter meus pais como meus pastores, não tenho palavras para expressar a gratidão a Deus por ter vocês como minha família. Desde de 99 eu sei que tenho um porto seguro para voltar quando precisar.

A próxima pessoa que eu não poderia deixar de agradecer nessa vida é o amor da minha vida, Marvin, meu noivo (até o presente momento, em breve, meu marido). Amor, o que seria de mim sem você nesses últimos meses? Nada, definitivamente. Deus me colocou no PEQ sem eu nem merecer ou imaginar, e o PEQ me deu você. E só a gente sabe tudo que a gente passou nesse programa, viu... Enfim, concluir essa dissertação não seria possível sem a sua ajuda, sem o seu apoio e a confiança que você colocou em mim. Quando eu pensei em desistir desse trabalho, você estava lá comigo tentando encontrar soluções para os meus problemas enquanto eu chorava no carro do seu lado. Você é sem dúvida tão merecedor dessa dissertação quanto eu. Obrigada por não desistir de mim mesmo quando eu surtava falando que não era capaz de terminar a tempo. Eu te amo, mô. Muito mesmo e para sempre.

Ao professor Henrique, melhor orientador que eu poderia ter, muito obrigada por sempre acalmar meus surtos desesperados quando achava que essa dissertação não seria aceita. Obrigada pela oportunidade de realizar um trabalho tão interessante e por sempre estar disponível, mesmo quando eu mandava mensagem domingo de noite.

Ao pessoal da coordenação e da secretaria do PEQ, muito obrigada por tornar minha estadia nesse lugar mais agradável. É verdade que passei mais tempo por esses corredores do que em casa nos últimos anos, e vocês sempre estiveram disponíveis

para resolver quaisquer problemas que surgissem a fim de tornar mais confortável a vida dos alunos, e mais habitável a G-125.

À turma de 23.1 agradeço imensamente as ajudas durante as disciplinas daquele primeiro período desesperador e sufocante. Vocês tornaram tudo mais leve, fosse nas sessões de estudo ou nos horários de almoço. Ali encontrei amizades que foram imprescindíveis para suportar as quatro temidas disciplinas obrigatórias. O PEQ definitivamente não é fácil, mas sem vocês (e nossos monitores) teria sido mais difícil.

Ao pessoal do meu laboratório, o NUCAT, muito obrigada por me acolherem mesmo eu trabalhando em um tema completamente diferente do que estamos acostumados no lab. As opiniões e conselhos após os seminários e nas conversas de corredor foram muito importantes durante esse processo.

Eu não poderia deixar de agradecer ao pessoal do LADES, representados na pessoa do professor Argimiro, que me acolheram no laboratório e me emprestaram um computador com os requisitos operacionais que eu precisava para o desenvolvimento dessa dissertação. Vocês tornaram esse trabalho possível! Obrigada por isso e pelas conversas diárias.

Ao pessoal do ATOMS, representados nas pessoas do professor Fred, Iuri, Ingrid e Carla, vocês são fenomenais! Me ajudaram sempre e me receberam como se fosse do lab de vocês. Agradeço imensamente pelas ajudas nos códigos, nas modelagens das estruturas, pelas conversas e reuniões relativas a como aplicar os softwares no âmbito educacional, e pelos cafés e salgadinhos dos seminários. Vocês estavam sempre disponíveis, e mesmo quando não tinham a solução para meu problema, não deixavam de pensar comigo até chegarmos a um resultado.

Relacionado à conversas sobre metodologias de ensino, não poderia deixar de agradecer à professora Márcia Dorea da Unigranrio que me recebeu e me aconselhou em como aperfeiçoar os aplicativos, como desenvolver os formulários de pesquisa, como conseguir um público alvo maior para melhorar as análises, enfim... Meu muito obrigado, professora. A senhora trouxe uma nova visão ao meu trabalho em um momento que eu não via saída.

Ao pessoal do IQ, representado pelo professor Pierre, muito obrigada por todo apoio e por abrirem as portas de vocês para ouvir as ideias do meu trabalho e buscarmos uma forma de aprimorar ele e aplica-lo nas turmas. Sei que o pouco tempo para trabalharmos juntos foi um aspecto limitante em muitos sentidos, mas agradeço a todos que apoiaram esse processo.

Ao pessoal da EQ, representados na pessoa da professora Fabiana. É fato de que sou criada pela Escola de Química, e poder voltar nela para conversar com vocês a fim de melhorar o meu trabalho e buscar soluções para aplicação dos softwares desenvolvidos nas turmas foi uma experiência fantástica. É incrível saber que mesmo

com o passar do tempo vocês estão sempre de portas abertas para me receber.

Eu não poderia deixar de agradecer ao Colégio Flama, representado pelo professor Ian. Fato de que Ian é um amigo da família já, mas se não fosse pela disponibilidade em abrir as turmas de ensino médio para demonstração do nosso aplicativo, não teríamos nem metade das análises que tivemos. Não tenho nem palavras para agradecer. Essa tese dependeu muito de vocês

Por fim, mas não menos importante, a todos aqueles que estiveram comigo durante essa caminhada, me apoiando durante esse período tão complicado, muito obrigada. Desde amigos, colegas e familiares, que entenderam quando eu não podia participar de alguma coisa porque estava presa no trabalho, até aqueles que eu nunca conheci pessoalmente, como Herysson e Gabriel, mas foram imprescindíveis me dando ideias e dicas de como otimizar os meus problemas computacionais, fica aqui registrado o meu muito obrigada.

Agradeço às instituições de fomento, especialmente à CAPES e a COPPETEC, pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa, fundamentais para a realização deste trabalho. Também expresse minha gratidão à UFRJ e, em especial ao PEQ, pelo suporte acadêmico e infraestrutura oferecidos, que foram essenciais para o desenvolvimento desta dissertação.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

## REALIDADE AUMENTADA APLICADA NO ENSINO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Suzane Carvalho Rufino

Fevereiro/2025

Orientador: Henrique Poltronieri Pacheco

Programa: Engenharia Química

O ensino das disciplinas da área de engenharia química frequentemente exige a abstração de conceitos complexos, como a visualização de estruturas moleculares, que são tradicionalmente representadas em duas dimensões. Essa limitação pode dificultar a compreensão espacial e a correlação entre bidimensional e tridimensional. A utilização de ferramentas interativas que possibilitam a visualização tridimensional desses conceitos favorece a assimilação do conteúdo, permitindo uma exploração mais intuitiva e dinâmica das estruturas químicas. O objetivo deste trabalho é utilizar a tecnologia da realidade aumentada (RA) para a projeção tridimensional de estruturas moleculares, gerando ferramentas de ensino interativas e imersivas voltadas ao ensino de engenharia química e química. Para o desenvolvimento desses softwares, foi utilizada a plataforma *Unity*, uma ferramenta de processamento tridimensional, integrada com o plug-in necessário para a utilização da RA, no caso, o *ARCore*. Para o desenvolvimento das estruturas projetadas, quando necessário, foram utilizados os softwares *ChemSketch* e *Blender*. Dois aplicativos foram desenvolvidos para este trabalho: o *ZeoliteApp*, para visualização de estruturas de zeólitas, e o *IsomeriaApp*, para facilitar a compreensão de conceitos de estereoquímica. A fim de avaliar os aplicativos foi realizada uma pesquisa de levantamento com estudantes do ensino médio técnico e ensino superior - graduação e pós-graduação - para a análise do impacto gerado pela RA no ensino e na motivação dos estudantes. O estudo demonstrou que a RA é uma ferramenta eficaz e bem aceita pelos alunos, tornando o ensino mais dinâmico e facilitando a compreensão de conceitos complexos, embora ela ainda seja uma tecnologia emergente e em constante evolução.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

## AUGMENTED REALITY APPLIED IN TEACHING CHEMICAL ENGINEERING

Suzane Carvalho Rufino

February/2025

Advisor: Henrique Poltronieri Pacheco

Department: Chemical Engineering

The teaching of subjects in the field of chemical engineering often requires the abstraction of complex concepts, such as the visualization of molecular structures, which are traditionally represented in two dimensions. This limitation can hinder spatial understanding and the correlation between two-dimensional and three-dimensional representations. The use of interactive tools that enable three-dimensional visualization of these concepts enhances content assimilation, allowing for a more intuitive and dynamic exploration of chemical structures. The objective of this work is to utilize augmented reality (AR) technology for the three-dimensional projection of molecular structures, creating interactive and immersive teaching tools aimed at chemical engineering and chemistry education. For the development of these applications, the Unity platform, a three-dimensional processing tool, was used in conjunction with the necessary AR plug-in, in this case, *ARCore*. For the development of the projected structures, when necessary, the *ChemSketch* and *Blender* software were used. Two applications were developed for this study: *ZeoliteApp*, designed for the visualization of zeolite structures, and *IsomeriaApp*, aimed at facilitating the understanding of stereochemistry concepts. To evaluate these applications, a survey was conducted with students from technical high schools, undergraduate, and graduate programs to analyze the impact of AR on learning and student motivation. The study demonstrated that AR is an effective and well-accepted tool among students, making learning more dynamic and facilitating the understanding of complex concepts, despite being an emerging and continuously evolving technology.

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b>	<b>xvi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação . . . . .	1
1.2 Objetivo . . . . .	3
1.3 Esboço da Dissertação . . . . .	4
<b>2 Revisão Bibliográfica</b>	<b>5</b>
2.1 Realidade Aumentada . . . . .	5
2.1.1 Realidade Aumentada e Realidade Virtual: A Escolha Pelo Uso da Realidade Aumentada . . . . .	6
2.2 Realidade Aumentada na Educação . . . . .	8
2.2.1 Uso da Realidade Aumentada no Ensino da Engenharia Química	10
2.3 Benefícios da Visualização Interativa para Aprendizagem . . . . .	14
2.4 Tecnologias e Ferramentas para Desenvolvimento de Aplicativos de Realidade Aumentada . . . . .	16
2.4.1 Softwares para Desenvolvimento de Aplicações em Realidade Aumentada . . . . .	18
2.5 Métodos e Avaliações do Uso da Realidade Aumentada no Ensino . . . . .	22
<b>3 Metodologia</b>	<b>27</b>
3.1 Desenvolvimento dos Aplicativos de Realidade Aumentada . . . . .	27
3.1.1 Desenvolvimento com a Unity . . . . .	28
3.1.2 Scripts Desenvolvidos . . . . .	29
3.1.3 Aplicativo de Zeólitas (ZeoliteApp) . . . . .	30
3.1.4 Aplicativo de Isomeria (IsomeriaApp) . . . . .	31
3.2 Procedimento de Aplicação dos Softwares Desenvolvidos nas Turmas . . . . .	32
3.2.1 Contexto das Turmas . . . . .	33

3.2.2	Procedimento de Uso em Sala de Aula . . . . .	33
3.2.3	Considerações de Usabilidade e Design Educacional . . . . .	34
3.3	Formulários de Avaliação . . . . .	34
3.3.1	Desenvolvimento e Estrutura dos Formulários . . . . .	34
3.3.2	Aplicação dos Formulários Pré Uso do App e Pós Uso do App	35
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussões</b>	<b>37</b>
4.1	Aplicativos Desenvolvidos . . . . .	37
4.1.1	Aplicativo de Zeólitas . . . . .	38
4.1.2	Aplicativo de Isomeria . . . . .	40
4.1.3	Limitações Técnicas . . . . .	44
4.2	Análise Descritiva dos Resultados por Aplicativos . . . . .	45
4.2.1	Aplicativo de Zeólitas . . . . .	46
4.2.2	Aplicativo de Isomeria . . . . .	51
4.3	Análise Descritiva dos Resultados Gerais . . . . .	64
4.3.1	Comparação entre Turmas e Níveis de Ensino . . . . .	64
4.3.2	Implicações do Uso da Realidade Aumentada no Ensino . . . .	68
4.3.3	Sugestões de Melhorias Gerais . . . . .	69
4.4	Análise Crítica das Limitações do Estudo e das Tecnologias Utilizadas	70
<b>5</b>	<b>Conclusões</b>	<b>72</b>
5.1	Sugestões Para Trabalhos Futuros . . . . .	73
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>75</b>
<b>A</b>	<b>Perguntas dos Formulários de Avaliação Desenvolvidos</b>	<b>83</b>
<b>B</b>	<b>Tabelas de Respostas dos Formulários Aplicados</b>	<b>91</b>
<b>C</b>	<b>Códigos Desenvolvidos em C#</b>	<b>116</b>
<b>D</b>	<b>Instalação dos Aplicativos e Manuais Disponibilizados</b>	<b>124</b>
<b>E</b>	<b>Desenvolvimento dos Aplicativos Adicionais</b>	<b>139</b>
E.1	Metodologia de Desenvolvimento . . . . .	139
E.2	Apresentação dos Aplicativos . . . . .	140
E.2.1	<i>VisuApp</i> . . . . .	140
E.2.2	<i>VisualizationApp - COF and Zeolites</i> . . . . .	144

# Lista de Figuras

1.1	Representação de uma Superfície Orientável. . . . .	2
1.2	Representações da Fita de Möbius. . . . .	2
2.1	Representação das Tecnologias de Acordo com o Espectro do <i>Continuum</i> Realidade-Virtualidade . . . . .	7
3.1	Exemplos de <i>frameworks</i> obtidos pelo site do IZA. . . . .	31
4.1	Página de Menu Inicial e Opções do Menu Dropdown do Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	38
4.2	Página de Visualização da Zeólita [ <i>ZeoliteApp</i> ]. . . . .	39
4.3	Formas de Interação com a Estrutura no <i>ZeoliteApp</i> . Em verde: botão para abertura do PopUp de informações; em azul: botão para visualização dos oxigênios na estrutura; em rosa: demonstração de como rotacionar a estrutura; e em laranja: slider para aplicação de zoom. . . . .	39
4.4	Páginas de Visualização da Zeólita [ <i>ZeoliteApp</i> ]. . . . .	40
4.5	Página Inicial do Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	41
4.6	Páginas dos Submenus do Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	42
4.7	Página de Menu e Opções do Menu Dropdown [Isomeria de Posição - Isomeria Estrutural - <i>IsomeriaApp</i> ] . . . . .	43
4.8	Página de Visualização da Estrutura [ <i>IsomeriaApp</i> ]. . . . .	43
4.9	Página de Visualização da Estrutura no Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	44
4.10	Respostas da Questão 5 do Formulário Prévio. . . . .	47
4.11	Respostas da Questão 5 do Formulário Pós Uso. . . . .	48
4.12	Comparação das Respostas às Questões 3 do Formulário Pré e Pós Uso. . . . .	49
4.13	Respostas às Questões 5 dos Formulários Pré e Pós Uso do app . . . . .	52
4.14	Comparação das Respostas às Questões 16 do Formulário Pré e Pós Uso do App. . . . .	53
4.15	Respostas da Questão 25 do Formulário Pós Uso do App. . . . .	54
4.16	Respostas das Questões 1 e 5 do Formulário Prévio. . . . .	56
4.17	Respostas das Questões 2 a 4 do Formulário Prévio. . . . .	57
4.18	Respostas das Questões 1 e 5 do Formulário Pós Uso do App. . . . .	57

4.19	Respostas das Questões 1 e 5 do Formulário Prévio. . . . .	59
4.20	Respostas das Questões 6 a 9 do Formulário Prévio. . . . .	60
4.21	Respostas das Questões 10 e 11 do Formulário Prévio. . . . .	60
4.22	Compilado das respostas às questões 5 dos formulários . . . . .	65
4.23	Compilado das respostas às questões 1 dos formulários . . . . .	65
4.24	Respostas das Questões Relativas ao Design dos Softwares. . . . .	67
C.1	Código para movimentação entre as páginas do aplicativo desenvol- vido [ <i>IsomeriaApp</i> ] . . . . .	117
C.2	Código que permite interação com o objeto 3D projetado em tela [ <i>IsomeriaApp</i> ] . . . . .	118
C.3	Código para troca entre os objetos projetados em tela . . . . .	119
C.4	Código para interação via zoom com o objeto 3D projetado em tela [ <i>ZeoliteApp</i> ] . . . . .	120
C.5	Código para interação via rotação com o objeto 3D projetado em tela [ <i>ZeoliteApp</i> ] . . . . .	121
C.6	Código para controle das cenas via menu principal [ <i>ZeoliteApp</i> ] . . . .	122
C.7	Código para interação com o PopUp de informações . . . . .	123
D.1	QR Code para página de direcionamento para download dos aplicativos. . .	124
D.2	Página 1 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	125
D.3	Página 2 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	125
D.4	Página 3 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	126
D.5	Página 4 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	126
D.6	Página 5 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	127
D.7	Página 6 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	127
D.8	Página 7 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	128
D.9	Página 8 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	128
D.10	Página 9 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	129
D.11	Página 10 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	129
D.12	Página 11 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	130
D.13	Página 12 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	130
D.14	Página 13 do Manual para o Aplicativo <i>ZeoliteApp</i> . . . . .	131
D.15	Página 1 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	132
D.16	Página 2 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	132
D.17	Página 3 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	133
D.18	Página 4 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	133
D.19	Página 5 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	134
D.20	Página 6 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	134
D.21	Página 7 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	135

D.22	Página 8 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	135
D.23	Página 9 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	136
D.24	Página 10 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	136
D.25	Página 11 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	137
D.26	Página 12 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	137
D.27	Página 13 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	138
D.28	Página 14 do Manual para o Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	138
E.1	Aplicativo <i>VisuApp</i> . . . . .	141
E.2	Páginas Iniciais dos MiniApps [Aplicativo <i>VisuApp</i> ]. . . . .	142
E.3	Páginas de Visualização dos Planetas [Planetas - <i>VisuApp</i> ]. . . . .	143
E.4	Página de Visualização dos Instrumentos e Vidrarias de Laboratório [Laboratório de Química - <i>VisuApp</i> ]. . . . .	143
E.5	Aplicativo <i>VisualizationApp - COF and Zeolites</i> . . . . .	144
E.6	Parte de Zeólitas no <i>VisualizationApp - COF and Zeolites</i> . . . . .	145
E.7	Menu das COF [ <i>VisualizationApp - COF and Zeolites</i> ]. . . . .	145
E.8	Páginas de Visualização das COF [ <i>VisualizationApp - COF and Ze- olites</i> ]. . . . .	146

# Lista de Tabelas

4.1	Resumo das Observações Pré e Pós Uso do ZeoliteApp . . . . .	50
4.2	Resumo da Análise das Respostas - IQ UFRJ 2024.2 . . . . .	55
4.3	Resumo da Análise das Respostas - 4 <sup>o</sup> Período Ensino Médio Técnico em Química do Colégio Flama . . . . .	58
4.4	Resumo da Análise das Respostas - 6 <sup>o</sup> Período Ensino Médio Técnico em Química do Colégio Flama . . . . .	62
4.5	Resumo da Análise das Respostas ao Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> . . . . .	63
A.1	Formulário Prévio do Aplicativo de Zeólitas . . . . .	84
A.2	Formulário Pós Uso do Aplicativo de Zeólitas . . . . .	85
A.3	Formulário Prévio do Aplicativo de Isomeria . . . . .	87
A.4	Formulário Pós Uso do Aplicativo de Isomeria . . . . .	89
B.1	Formulário prévio ao uso do aplicativo <i>ZeoliteApp</i> aplicado na turma COQ777 da pós-graduação do PEQ - COPPE UFRJ . . . . .	93
B.2	Formulário pós uso do aplicativo <i>ZeoliteApp</i> aplicado na turma COQ777 da pós graduação do PEQ - COPPE UFRJ . . . . .	95
B.3	Formulário prévio ao uso do aplicativo <i>IsomeriaApp</i> aplicado na turma de Orgânica 1 da graduação do Instituto de Química - UFRJ .	97
B.4	Formulário pós uso do aplicativo <i>IsomeriaApp</i> aplicado na turma de Orgânica 1 da graduação do Instituto de Química - UFRJ . . . . .	101
B.5	Formulário prévio ao uso do aplicativo <i>IsomeriaApp</i> aplicado na turma do quarto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias. . . . .	104
B.6	Formulário pós uso do aplicativo <i>IsomeriaApp</i> aplicado na turma do quarto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias. .	107
B.7	Formulário prévio ao uso do aplicativo <i>IsomeriaApp</i> aplicado na turma do sexto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias. . . . .	111
B.8	Formulário pós uso do aplicativo <i>IsomeriaApp</i> aplicado na turma do sexto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias. . .	113

# Lista de Abreviaturas

2D	Bidimensional, p. 1
3D	Tridimensional, p. 1
API	Interface de Programação de Aplicação ( <i>Application Programming Interface</i> ), p. 28
ARAAS	<i>Augmented Reality Applications Attitude Scale</i> , p. 24
ARCS	Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação, p. 8
ARLE	Ambiente de Aprendizagem via Realidade Aumentada ( <i>Augmented Reality Learning Environment</i> ), p. 9
CFD	Dinâmica dos Fluidos Computacional, p. 8
COF	Estruturas Orgânicas Covalentes ( <i>Covalent Organic Frameworks</i> ), p. 140
EMT	Ensino Médio Técnico, p. 65
EQPOP	I Congresso de Popularização da Pesquisa Científica da Escola de Química, p. 139
GUI	Interface Gráfica do Usuário ( <i>Graphical User Interface</i> ), p. 19
HMDs	Head-Mounted Displays, p. 18
IA	Inteligência Artificial, p. 6
IAu	Inteligência Aumentada ou Inteligência Amplificada, p. 6
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado ( <i>Integrated Development Environment</i> ), p. 19
IMMS	<i>Instructional Materials Motivation Survey</i> , p. 24
IQ	Instituto de Química da UFRJ, p. 33

IZA	Associação Internacional de Zeólitas ( <i>International Zeolite Association</i> ), p. 30
MOF	Estruturas Orgânicas Metálicas ( <i>MetalOrganic Frameworks</i> ), p. 11
OS	Sistema operacional ( <i>Operational System</i> ), p. 21
PBL	Aprendizagem Baseada em Problemas, p. 13
PEQ	Programa de Engenharia Química da COPPE/UFRJ, p. 33
RA	Realidade Aumentada, p. 3
RM	Realidade Mista, p. 6
RV	Realidade Virtual, p. 3
SDK	Kit de Desenvolvimento de Software ( <i>Software Development Kit</i> ), p. 16
TAM	<i>Technology Acceptance Model</i> , p. 24
XR	Realidade Estendida ( <i>Extended Reality</i> ), p. 3

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Motivação

Representar estruturas tridimensionais (3D) em um espaço bidimensional (2D), como uma folha de papel ou um quadro de sala de aula, pode ser um grande desafio, especialmente quando se trata de conceitos abstratos e detalhados, como estruturas moleculares e superfícies catalíticas [1]. Essa limitação pode dificultar a transição cognitiva entre representações 2D e 3D, impactando diretamente a compreensão e a correlação espacial dos estudantes. No ensino de engenharia química, que frequentemente aborda elementos tridimensionais como reatores químicos e equipamentos industriais, essa dificuldade se intensifica, pois nem todos os alunos possuem facilidade para a visualização, imaginação e abstração tridimensional. Além disso, a didática tradicional pode ser limitada na transmissão desses conceitos, uma vez que nem todos os professores dispõem de estratégias eficazes para ilustrar tais estruturas em meios bidimensionais.

A utilização de ferramentas interativas que possibilitam a manipulação tridimensional desses conceitos surge como uma alternativa promissora para superar essas barreiras, tornando o aprendizado mais acessível, intuitivo e dinâmico. O ser humano é um ser altamente visual, e a maneira como a informação é apresentada pode influenciar significativamente a sua capacidade de aprendizado e retenção de conhecimento. A possibilidade de utilizar ferramentas interativas que permitem a manipulação tridimensional desses conceitos não apenas facilita a compreensão espacial, mas também traz um forte apelo visual, tornando o aprendizado mais atrativo e engajador. Essa abordagem interativa e dinâmica pode aumentar o envolvimento dos alunos, tornando o ensino mais acessível e estimulando a curiosidade, essencial para a absorção de conteúdos complexos [2, 3].

Um exemplo famoso na área da matemática que demonstra essa dificuldade é o conceito da fita de Möbius. As fitas de Möbius são estruturas geométricas tridimen-

sionais cujas superfícies têm apenas um lado, sendo conhecidas como superfícies não orientáveis, ou seja, ela não pode ser dividida em dois lados distintos [4].

Em termos matemáticos, uma superfície orientável (Figura 1.1) permite a definição de uma normal unitária contínua em todos os pontos [5]. No entanto, na fita de Möbius, qualquer tentativa de definir um campo vetorial normal contínuo falha, pois, ao percorrer a fita, a orientação inverte-se após um ciclo completo. Essa característica implica que a fita de Möbius tem apenas um lado e uma única borda, tornando sua representação bidimensional desafiadora. A Figura 1.2 traz a representação dessa estrutura. Na Subfigura 1.2a tem-se a representação da estrutura da fita de Möbius, com divisões bem definidas, o que destaca sua continuidade e torção. Essa representação ajuda a visualizar a estrutura matemática da fita, com suas propriedades topológicas e o conceito de um único lado e uma única borda. Já a Subfigura 1.2b utiliza um estilo mais lúdico e didático, apresentando a fita de Möbius como uma estrada onde um carro percorre sua superfície. Essa abordagem facilita a compreensão intuitiva da peculiaridade da estrutura: ao seguir em linha reta, um carro percorre ambos os lados da estrada sem nunca cruzar uma borda. Contudo, mesmo com esses artifícios, ainda é necessária uma habilidade de visão espacial para o pleno entendimento da figura, reforçando sua complexidade.

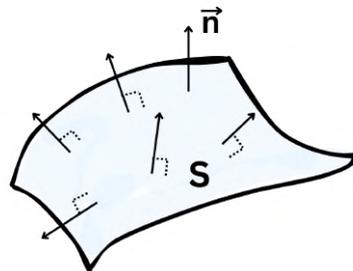
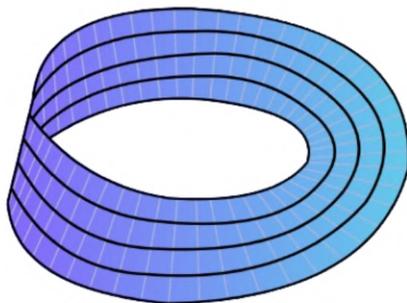
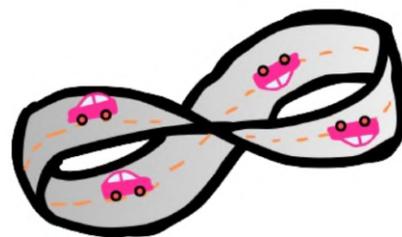


Figura 1.1: Representação de uma Superfície Orientável.



(a) Visualização Técnica.



(b) Ilustração Lúdica.

Figura 1.2: Representações da Fita de Möbius.

Essa dificuldade na visualização e no entendimento de estruturas complexas como essa pode se tornar motivo de desânimo por parte dos alunos com uma carência na capacidade de visão espacial.

Os avanços tecnológicos, principalmente os relacionados ao universo da realidade estendida (ou *extended reality* (XR), em inglês) surgem como uma forma de remediação dessa dificuldade presente em sala de aula, apresentando ferramentas que facilitam a visualização tridimensional de estruturas diversas. Tecnologias como a realidade aumentada (RA) e a realidade virtual (RV) têm sido estudadas nos últimos anos e têm sido aplicadas nas mais diversas áreas de ensino como ferramentas complementares buscando o aprimoramento das metodologias de ensino. Contudo, ainda existem lacunas nessas pesquisas, principalmente ao considerar os constantes avanços e o grande universo tecnológico em que essas modalidades estão inseridas [1].

Com isso, a identificação dessa dificuldade no âmbito educacional relativa ao ensino de conceitos complexos devido à necessidade de uma visualização tridimensional, e o crescente estudo das tecnologias de realidade estendida, serviram como motivação principal para o desenvolvimento do presente trabalho.

## 1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é estudar e desenvolver uma metodologia para criação de ferramentas utilizando a realidade aumentada para aplicação no ensino focando na visualização de estruturas moleculares. Desse modo, foram desenvolvidos softwares para dispositivos móveis que pudessem ser utilizados como uma ferramenta complementar ao ensino, tornando o aprendizado de disciplinas no escopo da engenharia química e química mais dinâmico e intuitivo.

O foco deste trabalho se divide em dois aspectos: aplicação na disciplina de catálise e nas disciplinas de química orgânica. Além do desenvolvimento dos softwares, também foi realizado um estudo do seu impacto no ensino, a partir de sua aplicação em diferentes classes.

Para alcançar tal objetivo fazem-se necessários os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um estudo de revisão bibliográfica sobre o uso da Realidade Aumentada no ensino;
- Desenvolver uma metodologia para criação de ferramentas em RA;
- Criar os aplicativos educativos em RA;
- Validar e testar a usabilidade das ferramentas desenvolvidas;

- Analisar o impacto das ferramentas no ensino;
- Investigar possíveis melhorias e expansões da metodologia.

### 1.3 Esboço da Dissertação

Este documento está dividido em quatro capítulos principais após esta introdução:

- No Capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura abordando o uso de realidade aumentada na educação e aplicações em engenharia química, abrangendo assim o estado da arte necessário para realização desta pesquisa e para o entendimento do leitor.
- No Capítulo 3 discute-se a metodologia adotada, detalhando as ferramentas, o processo de desenvolvimento e a aplicação dos softwares desenvolvidos e o método utilizado para avaliação dos softwares.
- No Capítulo 4 são apresentados os aplicativos que foram desenvolvidos e uma discussão do aproveitamento por parte dos alunos a partir da análise dos dados coletados dos questionários aplicados em salas de aula.
- No Capítulo 5 conclui-se o texto e apresentam-se sugestões para trabalhos futuros nesta área.

Além disso, o documento conta com cinco apêndices:

- No Apêndice A são apresentados os formulários em branco na íntegra que foram aplicados nas turmas para avaliação dos aplicativos.
- No Apêndice B são apresentadas as tabelas com todas as respostas recolhidas nestes formulários.
- No Apêndice C estão expostos os *scripts* formulados para as interações nos softwares desenvolvidos.
- No Apêndice D é apresentada a forma de instalação dos aplicativos e os manuais de uso que foram disponibilizados.
- No Apêndice E é apresentada a metodologia de desenvolvimento para os aplicativos adicionais desenvolvidos no trabalho e uma visão geral da versão final de cada um.

# Capítulo 2

## Revisão Bibliográfica

### 2.1 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia emergente que combina o mundo real com elementos virtuais em tempo real, oferecendo uma experiência interativa e imersiva. Ela é descrita como parte do espectro contínuo entre o ambiente real e o virtual, conhecido como *Reality-Virtuality Continuum*, ou *Continuum Realidade-Virtualidade* [6, 7].

As características principais da RA incluem a combinação de objetos reais e virtuais, interatividade em tempo real e o alinhamento tridimensional entre esses objetos [8–10]. Essas propriedades tornam a RA útil para aplicações em educação, engenharia e ciências, permitindo manipulação e análise de estruturas complexas [1, 11].

Na educação, a RA transforma representações bidimensionais em modelos tridimensionais, proporcionando melhor compreensão de estruturas moleculares e propriedades químicas complexas [1, 3]. Essa tecnologia permite que os alunos visualizem e manipulem modelos 3D, tornando o aprendizado mais dinâmico e envolvente [2, 12]. Além disso, a RA oferece suporte à exploração simultânea de diferentes níveis de representação química, como o macroscópico, simbólico e submicroscópico (nível atômico e molecular), integrando conteúdos visuais e textuais de maneira interativa [13, 14].

Os sistemas de RA podem ser classificados em diferentes tipos, como os baseados em marcadores, que utilizam códigos QR ou objetos físicos para ativar os conteúdos digitais, e os baseados em localização, que se valem do GPS para exibir informações digitais conforme o usuário se move pelo ambiente físico [12, 15]. Outra classificação inclui os sistemas ópticos e baseados em vídeo, que utilizam câmeras e sensores para sobrepor elementos virtuais ao ambiente real [16]. Esses sistemas podem ser integrados com tecnologias móveis, como tablets e smartphones, facilitando o acesso

a experiências imersivas [17, 18].

A RA também é considerada uma forma de inteligência amplificada ou inteligência aumentada (IAu), auxiliando na execução de tarefas complexas ao fornecer informações adicionais invisíveis a olho nu [8, 19]. Essa característica a torna particularmente relevante para áreas como as da engenharia química e química, em que é necessário representar fenômenos abstratos, como interações moleculares e orbitais, de forma visual e manipulável [20–22]. Além disso, a RA pode promover a integração sensorial, abrangendo não apenas a visão, mas também a audição e o tato, criando experiências mais completas, inclusivas e imersivas [23, 24].

O termo amplificação de inteligência ou inteligência aumentada foi introduzido por ASHBY, em 1956 [25]. A inteligência aumentada é uma subseção do aprendizado de máquina de inteligência artificial (IA) e é desenvolvida como uma forma de aprimorar a inteligência humana em vez de operar independentemente ou substituí-la completamente [25, 26].

A evolução da RA desde os anos 1960 e seu rápido crescimento como campo de pesquisa a partir dos anos 1990 demonstram seu potencial para transformar o ensino e a prática em diversas áreas, especialmente na engenharia química [7, 27]. A tecnologia já revolucionou setores como entretenimento e jogos, mas seu uso ainda é sub-explorado no campo acadêmico, oferecendo oportunidades para pesquisas futuras e novas aplicações educacionais [1, 20]. Existem ainda outras pesquisas que destacam o impacto positivo da RA na educação ao integrar representações dinâmicas e sensoriais para a visualização e manipulação de conteúdos tridimensionais [21, 28, 29].

### **2.1.1 Realidade Aumentada e Realidade Virtual: A Escolha Pelo Uso da Realidade Aumentada**

A RA é frequentemente comparada à Realidade Virtual devido às suas semelhanças e diferenças fundamentais. Essas tecnologias fazem parte do *Continuum* Realidade-Virtualidade, e têm sido amplamente exploradas devido ao avanço tecnológico dos últimos anos [3].

O modelo *Reality-Virtuality Continuum* (*Continuum* Realidade-Virtualidade), descrito por MILGRAM e KISHINO (1994), posiciona a RA entre o ambiente real e a virtualidade aumentada, destacando sua capacidade de combinar elementos físicos e digitais [8–10], e considera o todo do espectro como a Realidade Mista (RM), ou seja, um ambiente apto a compor determinadas características do mundo real com outras do mundo virtual. Enquanto a RV cria um ambiente totalmente virtual e imersivo, a RA aprimora o mundo real ao sobrepor elementos digitais a objetos físicos, permitindo a interação simultânea com ambos [6, 7, 11]. Além desses conceitos,

existe atualmente o conceito de Realidade Estendida (XR), que abrange qualquer tecnologia que altere a realidade, mesmo aquelas que ainda não foram desenvolvidas, e que estejam situadas em qualquer ponto do continuum da virtualidade. Sendo assim, a Figura 2.1 traz a representação das atuais tecnologias de acordo com o espectro de imersão.

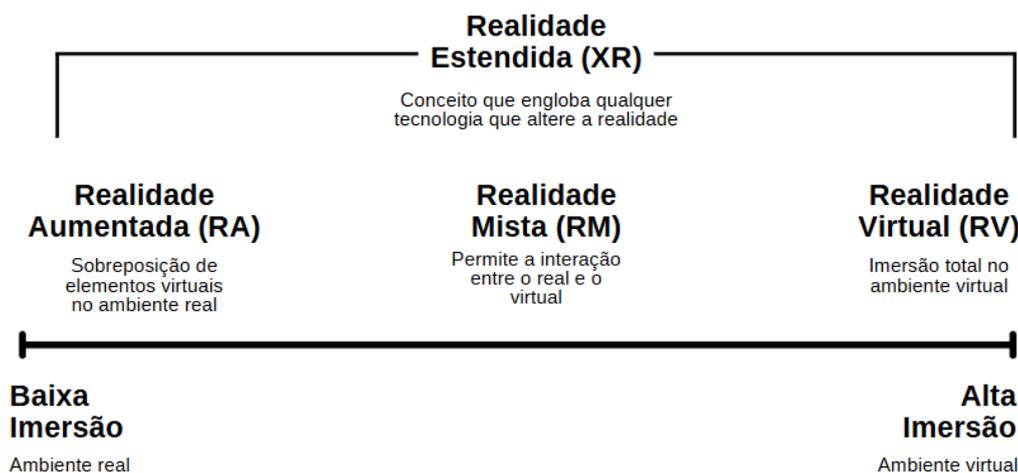


Figura 2.1: Representação das Tecnologias de acordo com o Espectro do *Continuum* Realidade-Virtualidade

Por ser uma tecnologia que complementa o ambiente real ao adicionar camadas digitais interativas, a RA torna-se mais acessível e prática, especialmente quando utilizada em dispositivos móveis, por não necessitar de equipamentos específicos dedicados, como um óculos de RV [1, 2, 11]. Essa abordagem é destacada como mais adequada para aplicações educacionais, em que o contexto físico desempenha um papel fundamental no processo de aprendizado [12, 19, 30].

A escolha da RA neste estudo deve-se à sua capacidade de preservar o ambiente físico da sala de aula, reduzindo distrações associadas à imersão total da RV, o que contribui para manter a atenção dos alunos. Além disso, a implementação da RV envolve custos mais elevados e demanda equipamentos específicos, tornando-a menos viável para turmas numerosas. Em contraste, a RA pode ser facilmente integrada a dispositivos móveis, como *smartphones*, que já são amplamente utilizados no contexto educacional de escolas particulares, por exemplo [1, 20]. Dessa forma, sua escolha foi baseada na flexibilidade, viabilidade econômica e potencial de aplicação no ensino de engenharia química.

## 2.2 Realidade Aumentada na Educação

A RA tem se destacado como uma ferramenta inovadora no campo educacional, proporcionando experiências interativas e envolventes que facilitam o aprendizado. Seu uso permite a visualização e manipulação de modelos tridimensionais, promovendo uma compreensão mais clara de conceitos abstratos e complexos [6, 11]. Essa tecnologia tem sido amplamente aplicada em diversas áreas do conhecimento, como educação médica, engenharia, ciências naturais, planejamento urbano e sistemas de navegação, demonstrando sua versatilidade na criação de simulações interativas e instruções passo a passo para tarefas técnicas [8].

O estudo de REBELLO et al. apresenta um levantamento sobre o impacto dessa tecnologia na educação em engenharia química, destacando suas aplicações, desafios e oportunidades. O estudo sistematizou a literatura sobre o uso da RA na engenharia química, analisando vinte e dois artigos publicados nos últimos anos, indicando que a RA tem sido utilizada principalmente para visualização tridimensional de moléculas, representação de processos químicos e simulação de experimentos laboratoriais.

Essas aplicações são fundamentais para melhorar a compreensão espacial dos alunos, permitindo que visualizem fenômenos de difícil abstração. A RA também tem se mostrado eficaz na integração com outras tecnologias, como a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), para aprimorar o entendimento de fenômenos de transporte [31].

O estudo de FOMBONA-PASCUAL et al. (2022), focado no âmbito do ensino de química e engenharia química, apresenta que a RA tem sido empregada para melhorar a compreensão de estruturas moleculares e reações químicas, permitindo que os alunos interajam com modelos 3D de compostos e explorem suas propriedades estruturais. Um exemplo é o aplicativo *NuPOV*, desenvolvido por AW et al. (2020) para ensinar mecanismos de adição nucleofílica em Química Orgânica, possibilitando a simulação de reações químicas e a manipulação de moléculas em 3D, reforçando a compreensão visual e estrutural dos conceitos abordados.

A implementação da RA no ensino não se limita às ciências exatas. Estudos demonstram que seu uso em disciplinas como história e linguagens resulta em maior engajamento e melhor assimilação do conteúdo. Um levantamento realizado por KLETTEMBERG et al. (2021) analisou 55 estudos publicados entre 2002 e 2020, investigando práticas pedagógicas envolvendo RA no ensino fundamental. Os resultados indicaram que a maioria das aplicações estava voltada para ciências naturais, matemática, linguagem e história, destacando o potencial da RA na educação básica e não apenas em áreas altamente técnicas.

Além de tornar o aprendizado mais interativo e visual, a RA também influencia significativamente a motivação dos alunos. Pesquisas indicam que seu uso no ensino

aumenta o interesse e a participação ativa, especialmente em conceitos abstratos que exigem alto nível de abstração mental. O estudo de ANUAR et al. (2021) avaliou a motivação dos alunos antes e depois do uso de materiais educativos baseados em RA, aplicando o modelo ARCS (Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação). Os resultados mostraram que a tecnologia melhorou especialmente a atenção e a satisfação dos estudantes, evidenciando o impacto positivo dessa abordagem [2].

Outro aspecto relevante na aplicação da RA na educação é a possibilidade de integração com diferentes métodos de ensino. A ferramenta ARLE (Augmented Reality Learning Environment), por exemplo, permite que professores criem materiais didáticos interativos sem a necessidade de programação avançada [19]. Essa flexibilidade facilita a adoção da RA em salas de aula, permitindo que os docentes combinem métodos tradicionais, como livros e anotações, com elementos digitais, como vídeos, imagens e modelos 3D, tornando o conteúdo mais acessível e atrativo.

O impacto da RA na aprendizagem também pode ser observado em estudos sobre retenção de conhecimento. No trabalho de GLASBY et al. (2023), a tecnologia foi utilizada para demonstrar estruturas químicas e processos de adsorção em materiais porosos, criando experiências visuais que resultaram em maior fixação do conteúdo. A pesquisa indicou que os alunos que utilizaram modelos interativos apresentaram uma retenção significativamente maior dos conceitos em comparação aos que tiveram apenas instrução teórica. Da mesma forma, OVENS et al. (2020) desenvolveram uma aplicação em RA para complementar experimentos de precipitação de DNA, permitindo que os estudantes visualizassem interações moleculares no nível submicroscópico (atômico e molecular) e conectassem melhor os conceitos teóricos aos processos observáveis em laboratório.

A RA também tem sido explorada como ferramenta para superar dificuldades na abstração de conceitos geométricos e gráficos técnicos. O estudo de RIZOV e RIZOVA (2015) demonstrou que a aplicação de RA no ensino de gráficos de engenharia melhora a compreensão de conceitos espaciais. A tecnologia foi empregada para ajudar os alunos a visualizar modelos tridimensionais baseados em projeções ortogonais, reduzindo dificuldades de abstração e melhorando o desempenho nas disciplinas de desenho técnico e geometria.

Em disciplinas de engenharia e ciências aplicadas, a RA tem sido implementada para a exploração prática de conceitos complexos, permitindo a manipulação interativa de modelos tridimensionais. Exemplos incluem sua utilização para ensinar estereoquímica, cristalografia e simetria molecular, tópicos tradicionalmente desafiadores, que podem ser facilitados por representações visuais imersivas [20]. Além disso, a integração da RA com livros interativos, jogos educativos e laboratórios virtuais amplia as possibilidades para o aprendizado experimental e investigativo [17].

Outro estudo relevante é o de FERNANDES et al. (2022), que avaliaram o uso de RA e RV para criar ambientes virtuais interativos na educação. Os resultados apontaram que essas tecnologias são particularmente úteis para simulações e treinamento prático em áreas como saúde, engenharia e matemática, tornando o aprendizado mais dinâmico e contextualizado. Essa abordagem é essencial para cursos técnicos e profissionalizantes, onde a experiência prática desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das habilidades dos alunos.

O estudo de RODRIGUES et al. (2010), por exemplo, explorou a aplicação da RA no ensino de modelagem estrutural em arquitetura e urbanismo, permitindo que os alunos interagissem com modelos físicos combinados a elementos virtuais para ilustrar conceitos como equilíbrio, deformações e tensões estruturais. A abordagem combinou a construção de modelos físicos pelos alunos com análises qualitativas suportadas por RA, tornando os conceitos mais acessíveis e dinâmicos.

ALVAREZ-MARIN e VELAZQUEZ-ITURBIDE (2021) analisaram de maneira abrangente a aplicação da RA no ensino de engenharia, destacando sua utilização em áreas como design técnico, eletrônica e construção. Os autores identificam um impacto positivo no desempenho acadêmico dos estudantes, apesar das restrições funcionais e do nível limitado de interatividade das aplicações disponíveis.

A expansão do uso da RA na educação tem demonstrado resultados expressivos em diferentes disciplinas e níveis de ensino, sendo especialmente eficaz para a compreensão de conceitos abstratos, a retenção do conhecimento e o aumento do engajamento. Estudos indicam que sua aplicação pode trazer benefícios significativos para áreas que exigem visualização tridimensional, manipulação interativa e aprendizado baseado em simulação. Além disso, a flexibilidade da RA permite que ela seja integrada a métodos tradicionais de ensino, materiais digitais e atividades experimentais, promovendo um aprendizado mais acessível, motivador e eficiente.

### **2.2.1 Uso da Realidade Aumentada no Ensino da Engenharia Química**

A capacidade da RA de fornecer representações tridimensionais interativas tem sido amplamente explorada para melhorar a compreensão de estruturas moleculares, processos termodinâmicos e interações químicas [3, 11].

Dentre as aplicações específicas, destaca-se o uso da RA para representação e simulação de moléculas, polímeros e interações químicas, permitindo que os usuários manipulem modelos tridimensionais e compreendam conceitos estruturais e reativos de forma dinâmica. Ferramentas como *NuPOV*, desenvolvida por AW et al. (2020), por exemplo, são utilizadas para o ensino de mecanismos de adição nucleofílica em Química Orgânica, simulando as interações entre nucleófilos e moléculas-alvo, o que

facilita a compreensão das condições espaciais e energéticas associadas às reações [3].

A tecnologia também tem sido aplicada para representar estruturas supramoleculares e cristalográficas, facilitando a análise de dados cristalográficos, simulações computacionais e interações intermoleculares [1]. Exemplos incluem a visualização de anéis borromeanos e estruturas orgânicas metálicas (MOFs), permitindo aos usuários visualizar propriedades de adsorção de gases, como  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , em diferentes condições de temperatura e pressão [11]. Essa abordagem não apenas facilita o aprendizado, mas também promove um entendimento mais intuitivo das relações estrutura-propriedade desses materiais.

Outro exemplo é o emprego da RA na visualização de conceitos fundamentais da química estrutural e molecular, como hibridização química e ligações covalentes, realizado por ABBASI et al. (2017). Modelos 3D interativos permitem explorar a transição dos orbitais atômicos para estados híbridos ( $\text{sp}^3$ ), ilustrando geometrias moleculares como a estrutura tetraédrica do metano, algo difícil de representar em diagramas 2D tradicionais [30].

O estudo de polímeros e materiais avançados também tem se beneficiado da RA. No trabalho apresentado por ROSHANDEL et al. (2023), modelos interativos foram utilizados para analisar conformações moleculares, tacticidade e degradação térmica de polímeros, ajudando os alunos a estabelecer conexões entre estruturas submicroscópicas (nível atômico e molecular) e propriedades macroscópicas dos materiais [14].

A engenharia química, além da química pura, envolve uma série de conceitos físicos e matemáticos, que também podem ser aprimorados com o uso da RA, como por exemplo, para representar fenômenos eletromagnéticos, campos magnéticos e processos térmicos, proporcionando aos usuários uma visualização mais clara de fenômenos que, de outra forma, exigiriam um alto nível de abstração [9, 16].

Embora a RA já seja usada para visualização de processos químicos, sua interação com simulações em tempo real ainda é limitada. Esse avanço permitiria que os alunos manipulassem parâmetros e observassem os efeitos dessas mudanças de forma mais interativa [31].

Apesar das vantagens da RA, sua implementação no ensino de engenharia química ainda enfrenta desafios significativos. A dificuldade na integração da RA aos currículos tradicionais é outro problema frequente. Muitos cursos de engenharia química ainda estão fortemente baseados em métodos expositivos tradicionais e experimentação laboratorial e, embora a RA tenha se mostrado uma ferramenta eficaz para a representação visual de experimentos, seu uso ainda não substitui a prática em laboratório, sendo necessário um equilíbrio entre essas metodologias [32].

A infraestrutura tecnológica também representa um desafio para a adoção da RA.

Ferramentas mais avançadas, como óculos de RA (ex.: HoloLens), ainda possuem um custo elevado, o que limita sua disseminação em ambientes acadêmicos com poucos recursos [20]. Além disso, a qualidade da experiência de RA pode variar dependendo dos dispositivos utilizados. Os aplicativos baseados em smartphones são mais acessíveis, mas podem ter limitações em termos de capacidade gráfica e interatividade que precisam ser transpassadas.

O uso de recursos digitais na educação não apenas potencializa a aprendizagem dos alunos, mas também oferecem aos docentes alternativas metodológicas inovadoras para o ensino. Em uma pesquisa conduzida por DÍAZ et al. (2023), mais de 60 % dos professores reconheceram a utilidade das ferramentas baseadas em RA como suporte pedagógico. Além disso, todos os participantes discordaram da ideia de que tais tecnologias se limitam a despertar curiosidade, ressaltando, assim, seu potencial educativo efetivo.

O estudo realizado por TZIMA et al. (2019) evidenciou que 60 % dos professores entrevistados consideram essencial o treinamento para aprimorar suas competências no uso da RA em sala de aula. Os resultados indicaram um interesse significativo por parte dos docentes na adoção dessa tecnologia, embora muitos ainda necessitem de maior familiaridade com suas aplicações.

Sob a perspectiva dos educadores, destaca-se a importância da definição clara dos objetivos de aprendizagem ao integrar aplicações de RA ao ensino. A eficácia da tecnologia depende da adequada delimitação das expectativas em relação ao aprendizado dos alunos; caso contrário, sua implementação pode se restringir a um caráter meramente lúdico, sem impacto significativo na aquisição de conhecimento [31].

Entre os desafios associados à RA, destacam-se questões de usabilidade relacionadas às limitações dos dispositivos, como tamanho reduzido da tela, velocidade da rede, capacidade de processamento e autonomia da bateria [36]. Outro aspecto crítico envolve a possibilidade de sobrecarga cognitiva ou um design pouco atrativo, conforme apontado por GUAYA et al. (2023). Esses fatores devem ser considerados já na etapa de concepção e desenvolvimento das experiências educacionais em RA, validando sua eficácia por meio de pesquisas de satisfação e aprimoramentos contínuos.

Apesar dos desafios, as oportunidades para a expansão da RA no ensino de engenharia química são amplas. O avanço das tecnologias de modelagem 3D, inteligência artificial e aprendizado adaptativo pode contribuir para a criação de ambientes educacionais personalizados, onde os usuários possam explorar conceitos de acordo com seu próprio ritmo e nível de compreensão.

A integração da RA com simulações computacionais e laboratórios remotos pode ser uma solução para complementar a experimentação tradicional. Estudos realiza-

dos por OVENS et al. (2020) demonstram que a RA pode ser utilizada para simular experimentos complexos, como a visualização de processos termodinâmicos, balanços de massa e energia, e fenômenos de transporte, proporcionando uma abordagem mais interativa e investigativa [13]. Além disso, a RA pode ser combinada com estratégias pedagógicas ativas, como aprendizagem baseada em problemas (PBL) e gamificação, tornando o ensino mais dinâmico e colaborativo [18].

No ensino de engenharia, a RA pode ser utilizada para a visualização de plantas industriais, permitindo que os usuários compreendam a disposição e funcionamento de equipamentos antes mesmo de entrarem em um ambiente físico de produção. Essa abordagem é particularmente útil para cursos que envolvem engenharia de processos, engenharia de materiais e controle de qualidade, onde a compreensão do layout e da dinâmica dos sistemas industriais é essencial.

Outra tendência promissora é a aplicação da RA para a capacitação profissional e treinamentos industriais para estudantes em época de estágios e conclusão de curso. Empresas do setor químico já utilizam essa tecnologia para treinar operadores de plantas industriais, simulando procedimentos de segurança e manutenção de equipamentos. Essa abordagem melhora o aprendizado e reduz custos e riscos associados ao treinamento prático em ambientes industriais reais [22].

Os trabalhos de CHAVENT et al. (2012) e MAIER e KLINKER (2013) ressaltaram as vantagens da visualização aprimorada proporcionada por recursos computacionais avançados, evidenciando seu impacto na melhoria da compreensão molecular e dos processos químicos no ensino. Além disso, MAIER e KLINKER (2013) destacam que o uso da RA apresentou desempenho superior à interface tradicional na assimilação espacial de estruturas moleculares.

Em aplicações laboratoriais, HERNÁNDEZ et al. (2021) desenvolveram um aplicativo com a tecnologia da RA para a realização de três experimentos específicos: determinação da temperatura de ebulição, lei da conservação da massa e titulação ácido-base. O software foi projetado para operar de forma acessível por meio dos dispositivos móveis. Cada experimento foi associado a uma sequência de cartões previamente organizados, que, ao serem enquadrados pela câmera do dispositivo, ativavam a projeção de imagens tridimensionais relevantes para a etapa experimental em questão.

Em outro estudo, foi desenvolvido um aplicativo de RA para demonstrar a eletrólise do iodeto de zinco. Durante a execução do experimento, os alunos poderiam apontar a câmera do dispositivo móvel para a solução em análise, e um ambiente virtual era sobreposto em tempo real, permitindo a visualização dos íons envolvidos, a compreensão da direção de sua migração e a observação das semi-reações de oxidação e redução [41].

LOW et al. (2022) implementaram em duas aulas práticas de operações unitárias,

envolvendo 50 estudantes de um curso de graduação em engenharia química, com o objetivo de avaliar a experiência do usuário, o nível de engajamento e a satisfação com o design da aula. As atividades foram conduzidas utilizando um aplicativo móvel da plataforma EON-XR, da EON Reality, e incluíram simulações de uma bomba centrífuga e um trocador de calor de casco e tubo.

Por fim, o desenvolvimento de plataformas educacionais abertas pode democratizar ainda mais o acesso à RA no ensino de engenharia química. A criação de bibliotecas interativas, repositórios de modelos 3D e aplicativos educacionais gratuitos pode facilitar a adoção da tecnologia, permitindo que um número maior de instituições de ensino incorpore a RA em suas metodologias pedagógicas.

## 2.3 Benefícios da Visualização Interativa para Aprendizagem

Um dos principais benefícios da RA é sua eficácia na melhoria da percepção espacial, permitindo que os usuários compreendam as relações entre estrutura e propriedades químicas de forma mais intuitiva e em tempo real [11].

A visualização tridimensional é particularmente relevante no ensino de ciências exatas e engenharia, em que os conceitos frequentemente exigem um alto grau de abstração. Estudos indicam que estudantes com maior habilidade de visualização espacial tendem a obter melhores desempenhos acadêmicos, enquanto aqueles com dificuldades nesse aspecto podem enfrentar desafios até na interpretação de diagramas 2D [3]. Nesse sentido, a RA oferece uma solução ao permitir a manipulação direta de modelos 3D, eliminando ambiguidades visuais e proporcionando um aprendizado mais intuitivo [1].

Além de aprimorar a compreensão visual, a RA também contribui para reduzir a sobrecarga cognitiva, pois permite que os alunos relacionem informações abstratas a modelos interativos. Em um estudo de DUNLEAVY e DEDE (2014), verificou-se que a integração da RA com metodologias ativas de ensino melhora a retenção do conhecimento e a transferência de aprendizado para novos contextos. Isso ocorre porque a RA reduz a necessidade de imaginar conceitos abstratos, permitindo que os alunos se concentrem em análises críticas e na aplicação dos conhecimentos adquiridos.

Outro benefício amplamente citado na literatura é o impacto positivo da RA na motivação e no engajamento dos alunos. No estudo conduzido por ANUAR et al. (2021), em que utilizou-se o modelo ARCS (Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação) para medir a motivação dos alunos antes e depois da exposição a conteúdos interativos baseados em RA, os resultados demonstraram um aumento expressivo

na atenção e satisfação dos participantes. Assim, destaca-se que a interatividade proporcionada pelas tecnologias interativas aumenta o envolvimento dos alunos com o aprendizado.

É importante notar, porém, que a RA apresenta limitações. Alguns estudos apontam que a qualidade da experiência do usuário pode variar dependendo dos dispositivos utilizados, uma vez que ferramentas baseadas em *smartphones* oferecem menor capacidade gráfica e interatividade em comparação com óculos de RA ou sistemas dedicados [20]. Além disso, a eficácia da RA depende da integração adequada ao currículo escolar, pois sua aplicação isolada pode não garantir resultados significativos sem um planejamento pedagógico estruturado, servindo apenas como uma forma de diversão.

A RA compartilha algumas semelhanças com a RV, como já mencionado na seção 2.1.1, mas diferencia-se por permitir a sobreposição de informações digitais ao ambiente físico, em vez de isolar completamente o usuário em um espaço virtual [8]. Essa característica é uma vantagem fundamental da utilização da RA para aplicações educacionais, pois permite que os alunos interajam com modelos tridimensionais enquanto permanecem conectados ao ambiente real de sala de aula.

Com o avanço das tecnologias educacionais, a RA tende a se tornar cada vez mais acessível e integrada a metodologias ativas de ensino. Uma das oportunidades mais promissoras está na integração da RA com inteligência artificial, permitindo a criação de sistemas adaptativos que ajustam o conteúdo de acordo com o desempenho e as necessidades individuais dos alunos.

Estudos, como o de FORTE e KIRNER ([s.d.]), indicam que a RA pode proporcionar experiências imersivas comparáveis às práticas laboratoriais tradicionais, permitindo que os alunos realizem simulações de reações químicas, testes de materiais e análises estruturais em um ambiente digital interativo [43].

A visualização interativa proporcionada pela RA representa uma evolução significativa no ensino de disciplinas que exigem forte compreensão espacial e manipulação de modelos complexos. Ao permitir a exploração de conceitos sob múltiplas perspectivas e reduzir a sobrecarga cognitiva, a RA se consolida como uma ferramenta educacional poderosa [31].

Estudos, conforme apresentado por REBELLO et al. (2024), indicam que a RA melhora significativamente a atenção dos alunos durante as aulas, pois a interatividade e os elementos visuais tornam os conteúdos mais envolventes. Além disso, a relevância é fortalecida, pois os alunos conseguem relacionar conceitos teóricos a aplicações práticas, aumentando a confiança no aprendizado e facilitando a compreensão de conceitos abstratos.

Assim, embora existam desafios na sua implementação, o avanço tecnológico e a crescente adoção da RA sugerem um cenário promissor para sua expansão. A

combinação da RA com inteligência artificial, gamificação e metodologias ativas de ensino pode revolucionar a forma como os alunos interagem com o conhecimento, tornando o aprendizado mais dinâmico, envolvente e acessível.

## 2.4 Tecnologias e Ferramentas para Desenvolvimento de Aplicativos de Realidade Aumentada

O desenvolvimento de aplicativos de RA exige um conjunto diversificado de ferramentas e plataformas que possibilitam a criação, renderização e exibição de modelos tridimensionais interativos em ambientes digitais. Essas tecnologias abrangem desde motores gráficos e kits de desenvolvimento de software (SDKs) até ferramentas específicas para modelagem 3D, rastreamento de imagem e integração com dispositivos móveis. A seleção das ferramentas apropriadas depende do objetivo educacional da aplicação, do nível de interação desejado e das restrições técnicas associadas a cada plataforma.

Os motores gráficos são o núcleo do desenvolvimento de aplicações de RA, sendo responsáveis pela renderização de modelos 3D, gerenciamento de interatividade e otimização gráfica. O Unity é amplamente utilizado devido à sua versatilidade e suporte para múltiplas linguagens de programação, como C# e JavaScript. Ele oferece um fluxo de trabalho eficiente para importação de modelos tridimensionais e compatibilidade com bibliotecas gráficas como DirectX e OpenGL, além de uma vasta gama de pacotes para aprimorar funcionalidades, como o AR Foundation, que possibilita a integração de aplicativos de RA em dispositivos móveis [44–46].

Além do Unity, o Unreal Engine também é uma alternativa robusta para RA, com renderização de alta fidelidade e suporte a Blueprints, um sistema de programação visual que facilita a implementação de interações sem necessidade de código avançado. No entanto, a complexidade e os requisitos computacionais mais elevados do Unreal Engine podem representar um obstáculo para desenvolvedores com menos experiência ou para aplicações destinadas a dispositivos móveis [21].

Para o desenvolvimento de aplicativos com base em rastreamento de imagens e objetos, algumas das principais ferramentas utilizadas incluem o Vuforia SDK, um dos *kits* de desenvolvimento mais empregados para RA, compatível com Unity e outros motores gráficos, permitindo o rastreamento baseado em imagens, reconhecimento de objetos e integração com bases de dados visuais. Entretanto, a versão gratuita apresenta limitações em funcionalidades avançadas [20].

Outra alternativa amplamente utilizada é o ARToolKit, uma biblioteca de código aberto voltada para a criação de experiências de RA baseadas em marcadores (*marker-based AR*), que, embora acessível, exige maior conhecimento técnico para

implementação [16]. Já os frameworks proprietários Google ARCore e Apple ARKit possibilitam rastreamento sem necessidade de marcadores (*markerless AR*), utilizando sensores avançados de dispositivos móveis para reconhecimento de superfícies e objetos do ambiente físico. Essa abordagem, que é a aplicada no presente trabalho, permite experiências mais imersivas, mas apresenta desafios quanto à compatibilidade entre diferentes dispositivos e sistemas operacionais [47].

A criação de modelos tridimensionais detalhados e realistas é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento de aplicativos de RA, especialmente em contextos educacionais que envolvem estruturas químicas, biomoleculares e materiais poliméricos. Algumas das principais ferramentas para modelagem e renderização incluem o Autodesk Maya e o 3ds Max, *softwares* amplamente utilizados para modelagem tridimensional de alta qualidade, ideais para aplicações que exigem modelos detalhados, mas que apresentam uma curva de aprendizado mais acentuada para iniciantes [1].

Para aplicações no ensino de química e ciências naturais, o Jmol é uma ferramenta especializada na visualização de estruturas químicas e biomoleculares, permitindo a conversão de dados cristalográficos para formatos compatíveis com RA. Sua integração com plataformas como *p3d.in* possibilita a distribuição de modelos interativos por meio de códigos QR, facilitando o acesso sem necessidade de aplicativos adicionais [11]. O *p3d.in*, por sua vez, é uma plataforma online que permite a exibição de modelos 3D interativos diretamente em navegadores, tornando-os acessíveis via dispositivos móveis. Embora seja uma solução prática, apresenta limitações na qualidade de renderização e interatividade em comparação com motores gráficos mais avançados [11].

A capacidade de integrar modelos 3D ao ambiente físico depende de tecnologias de rastreamento e de dispositivos específicos para exibição e interação. Entre as abordagens mais comuns, o rastreamento baseado em marcadores (*marker-based tracking*) utiliza imagens impressas ou padrões visuais para posicionar objetos virtuais no ambiente físico, sendo uma abordagem confiável, mas dependente de boas condições de iluminação e qualidade da câmera [6]. Já o rastreamento sem marcadores (*markerless tracking*) emprega sensores e visão computacional para identificar superfícies e objetos no ambiente real, sendo uma abordagem utilizada por tecnologias como ARCore e ARKit, mas que pode apresentar dificuldades em ambientes com poucas referências visuais [8]. Sensores híbridos, por sua vez, combinam sensores ópticos, magnéticos e acústicos para aumentar a precisão do rastreamento, embora demandem maior poder de processamento [48]. Além disso, dispositivos como os Head-Mounted Displays (HMDs), sendo um exemplo o *Microsoft HoloLens*, proporcionam experiências de RA mais imersivas, pois utiliza tecnologia de holografia para exibir modelos tridimensionais no campo de visão do usuário. No entanto, a

alta demanda computacional e os custos elevados desses dispositivos ainda limitam sua adoção em larga escala no ensino [7].

MAIER e KLINKER (2009) desenvolveram uma ferramenta interativa que possibilita a exploração intuitiva de moléculas, apresentando dinamicamente seu comportamento durante interações. Para isso, eles utilizaram a projeção em RA por meio de marcadores, através de um marcador impresso em papel, permitindo que, ao ser posicionado diante de uma *webcam*, a imagem da molécula seja projetada sobre a tela do dispositivo. Essa abordagem possibilita a visualização da molécula sob diferentes perspectivas, desde que a câmera permaneça focada no marcador.

Para facilitar a implementação da RA na educação, algumas plataformas oferecem ferramentas acessíveis para criação de conteúdos interativos sem necessidade de conhecimento avançado em programação. Um exemplo é o ARTutor, uma plataforma baseada no ARToolKit e OpenGL, desenvolvida para criação de materiais educacionais interativos. Sua interface simplificada permite que usuários adicionem vídeos, modelos 3D e animações sem a necessidade de programação [43]. Além disso, ferramentas como ARIS, buildAR e FreshAiR integram RA com geolocalização e QR codes, permitindo a criação de experiências educacionais baseadas no ambiente físico e utilizadas principalmente para aplicações em aprendizagem contextualizada e investigações interativas [12].

Portanto, o desenvolvimento de aplicativos de RA exige um conjunto variado de ferramentas para modelagem, rastreamento, renderização e interação, cada uma com suas vantagens e limitações. A escolha das ferramentas para desenvolvimento depende do nível de interatividade desejado, dos requisitos computacionais e das restrições de acessibilidade. No contexto educacional, os dispositivos onde será aplicada a RA variam desde smartphones e tablets até óculos de RA e sistemas de projeção específicos, cada um oferecendo diferentes níveis de uso e interatividade. A escolha do dispositivo depende do objetivo educacional, da complexidade do conteúdo e do grau de interação necessário [31].

### 2.4.1 Softwares para Desenvolvimento de Aplicações em Realidade Aumentada

O desenvolvimento de aplicações em RA requer uma combinação de softwares especializados, que vão desde motores gráficos para renderização e interação até ferramentas para modelagem tridimensional e manipulação de estruturas moleculares. Entre as principais engines utilizadas para a criação de ambientes interativos com RA, destacam-se a Unity e a Unreal Engine, ambas amplamente adotadas devido ao seu suporte multiplataforma e compatibilidade com bibliotecas gráficas como OpenGL e DirectX. Enquanto a Unity é reconhecida por sua flexibilidade e ampla

adoção no desenvolvimento para dispositivos móveis e aplicações acadêmicas, a Unreal Engine se destaca por sua qualidade gráfica avançada e uso em aplicações de alta fidelidade visual.

Além das engines de desenvolvimento, softwares para modelagem e processamento de imagens desempenham um papel fundamental na criação de objetos tridimensionais e texturas utilizadas nas aplicações de RA. Ferramentas como Blender e Maya são amplamente utilizadas para modelagem, animação e renderização de elementos gráficos, sendo essenciais para a criação de ambientes e objetos virtuais que compõem a experiência aumentada. Para aplicações que envolvem visualização de estruturas moleculares, há também softwares especializados na modelagem e manipulação desses elementos. Programas como Jmol, Vesta, ChemSketch e ChemDraw são amplamente utilizados nas áreas científicas e educacionais para a representação tridimensional de moléculas, sendo ferramentas valiosas para aplicações de RA voltadas ao ensino e pesquisa em química e ciências dos materiais.

A escolha do conjunto de softwares a ser utilizado depende dos requisitos específicos de cada aplicação, considerando fatores como compatibilidade, facilidade de integração e recursos oferecidos para atender às necessidades do projeto.

#### 2.4.1.1 Plataforma de desenvolvimento: *Unity*

A Unity[50], também conhecida como Unity3D, é uma plataforma de desenvolvimento em tempo real com a capacidade de criação de jogos otimizados e renderização em tempo real. Ela é uma *engine* multiplataforma, o que facilita o desenvolvimento de *softwares* para diferentes sistemas operacionais. Além disso, ela utiliza a linguagem de programação C# com conceitos de programação orientada a objetos [45, 46].

Ela apresenta como diferencial a existência de um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) dentro da sua própria plataforma [44, 45]. Um IDE ou *Integrated Development Environment* é um software que auxilia no desenvolvimento de aplicativos, muito utilizado por desenvolvedores, com o objetivo de facilitar processos combinando ferramentas comuns em uma única interface gráfica do usuário (GUI) [51].

Outra vantagem que pode ser mencionada é a extensa documentação existente na *internet* [52] dos diferentes pacotes que podem ser instalados para desenvolvimento de ferramentas e recursos específicos. Além disso, a Unity também possui o *Unity Learn* [53] que é um ambiente digital para ensino desenvolvido pela própria Unity para auxiliar os desenvolvedores de software.

O Editor da Unity é uma junção de várias sub-janelas de edição, em que as mais comumente utilizadas estão listadas [44]:

- Navegador do Projeto: contém todos os *assets* que foram importados para o

projeto e que estão disponíveis para o uso;

- **Inspetor:** contém todos os detalhes de cada objeto de jogo (*GameObject*) e permite a modificação dos mesmos, além disso apresenta todos os componentes anexados aos objetos (*scripts*, física, colisores, etc);
- **Visão de Jogo:** a janela de visão do jogo permite ao usuário uma prévia de "*what you see is what you get*", deste modo, essa janela mostra exatamente o que aparecerá no jogo desenvolvido ao ser finalizado;
- **Visão de Cena:** nesta janela é onde o jogo é construído, nela o desenvolvedor pode arrastar e soltar recursos da visualização do projeto e ela é equipada com controles de alça 3D familiares e ajustes de grade permitindo ao usuário a organização de seus recursos na posição exata desejada;
- **Hierarquia:** contém a lista de todos os objetos atualmente presentes na cena sendo trabalhada.

## Conceitos Bases

Existem quatro conceitos bases para o desenvolvimento de softwares na Unity. São eles: variáveis, métodos, classes e objetos.

Os objetos são as instâncias finais de uma classe, ou seja, eles são o resultado de tudo. Já as classes definem o estado e o comportamento de um objeto por meio do uso de atributos (variáveis) e métodos.

As variáveis são os espaços na memória do computador destinados a um dado podendo ser alteradas durante a execução do algoritmo. Além dos tipos mais comumente conhecidos de variáveis nos contextos de programação (int, float, string, bool), a Unity tem dois tipos específicos de variáveis próprias: o *GameObject* e o *Rigidbody*. Os *GameObjects* são as variáveis que realizarão alguma função ao serem adicionadas a cena. E a variável *Rigidbody* está relacionada aos componentes físicos de um *GameObject*, como por exemplo, a existência da gravidade e a forma de colisão aplicada ao objeto.

Os métodos são funções. Eles são um bloco de código associado a um objeto e que possui acesso a seus dados sendo capaz de determinar o seu comportamento dentro de uma classe.

Existe um conjunto de classes, métodos e variáveis padrões da Unity que é alocado dentro do espaço *MonoBehaviour*. Todos os scripts padrões derivam dele. Além disso, existem dois *voids* (métodos) padrões que são gerados automaticamente ao criar um script na Unity. Apesar de padrões, eles não são obrigatórios, e podem ser manualmente alterados. São eles: *start* e *update*.

- *Start*: tudo dentro desse método é chamado toda vez que inicializar o jogo desenvolvido;
- *Update*: tudo dentro desse método é chamado a cada frame que for rodado no jogo.

Com isso, no *void Start* costuma-se colocar tudo que deve estar presente (ativo ou inativo) assim que inicializar o jogo ou software desenvolvido. O que for sendo alterado ao longo do uso, como a movimentação de um personagem, costuma-se colocar no *void Update*. Mas, como mencionado anteriormente, existem outros *voids* que podem ser criados caso seja necessário.

### **Pacotes e Assets**

Existem inúmeros pacotes, gratuitos e pagos, que são utilizados com a Unity. Eles podem ser acessados pelo *Package Manager* dentro do próprio software ou pela *Asset Store* [54].

O termo *asset* pode ser traduzido como ativos ou recursos. No contexto de desenvolvimento de softwares, jogos e aplicativos, o termo refere-se a todos os elementos digitais que são utilizados para criar e desenvolver o projeto, desde modelos 3D, até sons, texturas, animações, scripts.

A *Asset Store* é a loja oficial de recursos da Unity. Nela encontra-se diversos pacotes de funções, variáveis, gameobjects, entre outros. Na *Asset Store* também podem ser encontrados templates de softwares desenvolvidos que, em certos casos, facilitam o entendimento de algumas ferramentas encontradas nos pacotes.

Além dos pacotes padrão que já são adicionados aos desenvolvimentos na Unity, como o TextMeshPro, que permite a adição de objetos de texto às cenas, e o UnityUI, que permite a criação de interfaces para o usuário como menus, existem dois pacotes que foram utilizados em todas os nossos softwares a fim de permitir a integração da RA. São eles: AR Foundation [55] e o Google ARCore XR Plug-in [47].

O pacote AR Foundation é o que possibilita a criação de aplicativos de RA multiplataforma com o Unity. No AR Foundation, os recursos de RA são ativados por meio da adição dos componentes gerenciadores correspondentes à cena. Durante a compilação, o AR Foundation se integra ao SDK (*software development kit*) nativo da plataforma de destino, permitindo a habilitação automática dos recursos de AR em dispositivos compatíveis.

O SDK é um conjunto de ferramentas para criação de software voltado para uma plataforma específica. Ele inclui componentes como blocos de construção, depuradores, compiladores e bibliotecas, necessários para criar códigos que sejam executados em um sistema operacional (OS) específico [56]. Os dois principais SDK's utilizados no AR Foundation são os ARCore e ARKit.

O pacote *Google ARCore XR Plug-in*, comumente abreviado para ARCore, é o *plug-in* necessário para implementação em dispositivos com sistema operacional Android. Ele opera integrado com o pacote AR Foundation e, a partir dele, pode-se configurar os requisitos operacionais do sistema para o qual estamos desenvolvendo. O pacote *Apple ARKit XR Plug-in* [57], ou ARKit, é utilizado para desenvolvimento e implementação em dispositivos com sistema operacional iOS. Além desses, a Unity também permite a integração com pacotes para a exportação de aplicações na versão web, como o *WebXR Exporter*, permitindo a execução de aplicativos de RA diretamente no navegador, sem a necessidade de instalação em um dispositivo móvel.

#### 2.4.1.2 Edição de Estruturas: *ChemSketch* e *Blender*

O ChemSketch é um software amplamente utilizado para a criação, edição e visualização de estruturas químicas em 2D e 3D, desenvolvido pela ACD/Labs. Este programa oferece uma interface intuitiva que permite a construção de moléculas orgânicas, inorgânicas, polímeros e até mesmo sistemas mais complexos. É amplamente empregado em aplicações educacionais, científicas e industriais, devido à sua capacidade de gerar representações precisas de estruturas químicas, realizar cálculos básicos e criar diagramas para documentação técnica e apresentações [58].

O Blender, por sua vez, é uma ferramenta de software livre e de código aberto amplamente utilizada para modelagem, animação e renderização em 3D. Ele é reconhecido por sua versatilidade, oferecendo recursos que vão desde a criação de modelos tridimensionais detalhados até a edição de vídeos e o desenvolvimento de jogos. Além disso, o Blender suporta uma ampla variedade de formatos de arquivo, permitindo que ele seja integrado a diferentes fluxos de trabalho e softwares [59].

## 2.5 Métodos e Avaliações do Uso da Realidade Aumentada no Ensino

A avaliação da eficácia da RA no ensino tem sido conduzida por meio de diferentes abordagens metodológicas, combinando métodos quantitativos e qualitativos para medir seu impacto no aprendizado, engajamento e motivação dos alunos. Estudos indicam que a RA melhora significativamente a retenção de conhecimento e a percepção espacial, permitindo uma compreensão mais intuitiva de conceitos complexos [15, 22–24, 30]. Para validar esses benefícios, é fundamental que as metodologias de avaliação sejam bem estruturadas e respaldadas por técnicas estatísticas adequadas.

Entre os principais métodos utilizados para avaliar a aplicação da RA na educa-

ção, destacam-se os testes pré e pós-uso, que permitem a mensuração da evolução do conhecimento antes e depois da interação com a tecnologia; escalas psicométricas, como a escala Likert, utilizadas para avaliar a percepção subjetiva dos participantes em relação à motivação, engajamento e experiência do usuário; análises estatísticas inferenciais, que garantem a validade dos resultados obtidos, e observações qualitativas, que permitem um entendimento mais profundo da usabilidade e desafios enfrentados pelos estudantes.

A escala Likert, desenvolvida por LIKERT (1932) é utilizada para avaliar o grau de concordância ou discordância dos respondentes em relação a afirmações sobre diversos construtos, como autoestima ou senso de pertencimento. A escala pode variar em termos de número de pontos, sendo frequente o uso de escalas com 3, 5 ou 7 pontos, conforme o objetivo da pesquisa [60, 61].

A aplicação das escalas Likert é comum em áreas como psicologia e educação, mas também se estende a contextos fora do âmbito acadêmico, como a avaliação de satisfação em relação a serviços públicos ou produtos. O formato padrão dessas escalas consiste em uma afirmação seguida de uma série de opções de resposta que permitem classificar as opiniões dos participantes, com base em dimensões como concordância, frequência ou importância. Quando bem estruturadas, as escalas Likert oferecem uma medição consistente e de fácil interpretação, facilitando a análise de dados complexos e tornando-se ferramentas valiosas tanto em pesquisas acadêmicas quanto em aplicações práticas de coleta de opiniões [9, 18, 60, 61].

Essa escala é aplicada para medir percepções subjetivas dos usuários, como engajamento e satisfação, e foi a metodologia escolhida para utilização na construção dos formulários pré e pós uso da ferramenta no presente trabalho. Essa abordagem permite quantificar atitudes e opiniões, capturando variações sutis em fatores como motivação, percepção da eficácia da tecnologia e dificuldades enfrentadas durante o uso [60, 61].

Os testes pré e pós-uso são amplamente empregados na avaliação de impacto educacional, sendo utilizados para comparar diretamente o nível de conhecimento dos alunos antes e depois da utilização de um recurso didático. Esse método foi aplicado em diversos estudos com RA, como no experimento de AW et al. (2020), que avaliou o aplicativo NuPOV com 87 estudantes de química, mensurando variáveis como autoeficácia e interesse na disciplina. Os resultados mostraram um aumento de 45 % na confiança dos alunos para resolver problemas complexos após o uso da ferramenta. Apesar dos resultados positivos, o estudo sugere que o aplicativo não aumentou significativamente o interesse pela disciplina, mas ajudou os alunos a estudarem sem ajuda adicional [3].

De forma semelhante, outro estudo com o aplicativo *ARKE* envolveu 31 alunos de eletrônica básica, medindo motivação inicial e final com questionários baseados na

escala Likert. Os resultados mostraram aumento significativo na atenção (+70,72 %) e na satisfação (+56,78 %) após o uso do aplicativo. Testes estatísticos confirmaram diferenças significativas entre os níveis de motivação antes e depois das aulas [2]. De forma semelhante, OVENS et al. (2020) avaliou 99 alunos de graduação em química e constatou que 60 % dos participantes utilizaram a ferramenta de RA como revisão após o experimento, reforçando sua eficácia como suporte educacional para estudos autônomos e 67 % dos estudantes afirmaram que pretendiam usar o aplicativo como parte de sua preparação para exames [13].

Além dos métodos tradicionais existentes, diversos modelos e instrumentos foram desenvolvidos para compreender e mensurar a influência especificamente da RA no processo de aprendizagem, no engajamento e na motivação dos alunos. Entre as principais ferramentas utilizadas nesse contexto, destacam-se o *Technology Acceptance Model* (TAM), a *Augmented Reality Applications Attitude Scale* (ARAAS) e o modelo ARCS de KELLER (1987), que incorpora o *Instructional Materials Motivation Survey* (IMMS). O TAM é um modelo que foi aprimorado ao longo dos anos e permite uma previsão mais precisa dos fatores que influenciam a aceitação das novas tecnologias [63, 64]. Já o modelo ARAAS, desenvolvido por KÜÇÜK et al. (2014), consiste em uma escala voltada à avaliação das atitudes dos estudantes em relação às aplicações de RA no ensino. Além disso, pesquisas recentes ressaltam a validade e a confiabilidade do modelo ARCS de KELLER (1987), especialmente quando combinado ao IMMS para avaliar a motivação e o impacto da aprendizagem mediada por tecnologias de RA [42, 66, 67].

Para garantir a validade estatística dos resultados obtidos em estudos sobre RA, podem ser utilizadas diversas análises estatísticas inferenciais, tais como testes t de Student, ANOVA e correlação de Pearson. Essas análises permitem comparar o desempenho de diferentes grupos e verificar a existência de diferenças significativas nos dados. No estudo de ABBASI et al. (2017), por exemplo, um teste t de Student foi empregado para analisar a melhora no desempenho acadêmico após o uso de RA. O grupo experimental, que utilizou a tecnologia, obteve uma média significativamente superior (12,6 pontos no pós-teste) em comparação ao grupo controle (9,5 pontos), indicando um efeito positivo da ferramenta. Além disso, a análise estatística mostrou menor desvio padrão e maior uniformidade nas respostas do grupo experimental, sugerindo melhor compreensão e retenção do conteúdo. E, no quesito notas, 30,7 % do grupo experimental atingiram nota A, contra apenas 7,7 % do grupo controle [30].

A pesquisa de ROSHANDEL et al. (2023) envolveu apenas 12 alunos e utilizou questionários para avaliar a eficácia da ferramenta aplicada. Neste estudo, 83 % dos alunos relataram maior confiança na visualização de polímeros após o uso da RA, e 91 % recomendaram sua aplicação contínua em sala de aula [14].

O estudo realizado por DEMITRIADOU et al. (2020) com 30 alunos do ensino fundamental também dividiu os participantes em grupos controle e dois grupos experimental (um usando RV e um utilizando RA) para avaliar o impacto das tecnologias de imersão na aprendizagem de matemática. Todos os grupos mostraram melhorias no pós-teste, mas os grupos de RV e RA apresentaram desempenho significativamente superior ao grupo de controle ( $p < 0,05$ ). Além disso, não houve diferença estatística significativa entre RA e RV, sugerindo que ambas as tecnologias são igualmente eficazes. O estudo, porém, recomenda a realização de novos estudos com amostras maiores e tempos de aplicação mais extensos para validação dos resultados [28].

Em uma turma de engenharia, um estudo realizado por YECHKALO et al. (2019) com 33 alunos divididos em dois grupos: experimental (com 16 alunos) e de controle (com 17 alunos) mostrou que a motivação dos alunos no grupo experimental era 40,81 % maior do que a do grupo de controle, com uma eficiência 16 % maior na execução de trabalhos laboratoriais [22].

Em uma pesquisa com 200 alunos conduzida por LUZ et al. ([s.d.]), 90 % aprovaram o uso da RA, destacando maior clareza na visualização de conteúdos e aumento da motivação, enquanto os professores relataram satisfação devido à facilidade de uso e custo acessível da tecnologia [9]. Outra investigação avaliou a eficácia da abordagem VisAr3D em comparação com ferramentas tradicionais de visualização 2D, revelando uma precisão de 98,88 % na execução de tarefas com o VisAr3D, contra 98,15 % no uso de ferramentas 2D consolidando a flexibilidade, interatividade e estímulo à criatividade gerados pela ferramenta [68].

RIZOV e RIZOVA (2015) apresenta uma pesquisa com 321 alunos e 12 professores universitários, em que 84 % dos estudantes passaram nos testes após a introdução da RA, comparados a apenas 62 % antes do uso da tecnologia, e 47 % obtiveram notas altas, evidenciando seu impacto positivo na compreensão de conceitos complexos e abstrações espaciais. Além disso, 87 % dos professores relataram maior interesse dos alunos e 76 % destacaram economia de tempo no ensino, apesar de desafios técnicos, como a falta de softwares licenciados e equipamentos adequados [18].

Além dos métodos de avaliação, é essencial compreender os princípios fundamentais da geração de imagens e renderização gráfica na RA, visto que a tecnologia depende diretamente da qualidade visual e da precisão na sobreposição de objetos virtuais ao ambiente real. A precisão na sobreposição de modelos tridimensionais ao ambiente físico depende de técnicas avançadas de rastreamento e ancoragem. Estudos como os de RABBI e ULLAH (2013) analisaram os desafios do rastreamento na RA, destacando erros de alinhamento entre objetos reais e virtuais, que podem comprometer a experiência do usuário. Já AZUMA (2014) indicaram que a precisão

do rastreamento influencia diretamente a capacidade dos alunos de interagir com modelos virtuais, sendo um fator crucial para a aplicação eficaz da tecnologia em sala de aula.

Apesar dos avanços e dos impactos positivos identificados em diversas pesquisas, a aplicação da RA na educação ainda enfrenta desafios significativos, incluindo a necessidade de capacitação docente, limitações técnicas em dispositivos móveis e a falta de padronização nos métodos de avaliação, o que dificulta a comparação entre diferentes estudos.

Portanto, os estudos analisados demonstram que a RA pode modernizar o ensino e aumentar o engajamento dos alunos, quando bem integrada ao contexto pedagógico. A combinação de métodos quantitativos e qualitativos para sua avaliação é essencial para garantir resultados mais precisos e compreender o real impacto da tecnologia no aprendizado. Com o contínuo avanço das tecnologias gráficas e das metodologias de ensino, a RA tende a se tornar cada vez mais acessível e integrada a metodologias ativas de ensino, se consolidando como um recurso essencial no ensino e proporcionando novas possibilidades para a educação interativa, imersiva e exploratória.

# Capítulo 3

## Metodologia

Neste capítulo estão apresentadas as etapas metodológicas envolvidas no desenvolvimento, aplicação e avaliação dos aplicativos de RA desenvolvidos para o ensino de estruturas moleculares em engenharia química. Primeiramente, são descritas as ferramentas e *scripts* utilizados no processo de criação dos dois aplicativos desenvolvidos no trabalho, *ZeoliteApp* e *IsomeriaApp*, incluindo as limitações técnicas encontradas durante seus desenvolvimentos.

Em seguida, detalha-se o procedimento de aplicação nas turmas em diferentes níveis de escolaridade, a saber: ensino médio técnico, graduação e pós-graduação. Os procedimentos para cada turma foram alterados individualmente considerando o contexto educacional e social de cada uma e os aspectos de usabilidade e design pedagógico dos aplicativos.

Por fim, descreve-se o processo de elaboração e aplicação dos formulários de avaliação, que foram utilizados para captar a percepção prévia dos estudantes sobre a utilização de RA como ferramenta de ensino e a percepção posterior ao uso dos aplicativos, possibilitando uma análise da aceitação e utilidade das ferramentas desenvolvidas neste trabalho.

### 3.1 Desenvolvimento dos Aplicativos de Realidade Aumentada

Esta seção se propõe a detalhar o método aplicado neste trabalho para o desenvolvimento dos softwares para dispositivos móveis. Além disso, são apresentados os recursos e ferramentas utilizados. No Apêndice E está exposta brevemente a metodologia para desenvolvimento de outros dois aplicativos que foram desenvolvidos para fins diversos durante o período de escrita da dissertação.

### 3.1.1 Desenvolvimento com a Unity

Para o desenvolvimento dos aplicativos deste trabalho, foi utilizada a Unity, uma plataforma de desenvolvimento em tempo real amplamente utilizada para a criação de aplicações interativas. Conforme apresentado na seção 2.4.1, a Unity é uma engine multiplataforma, permitindo compatibilidade com diversos sistemas operacionais. Além disso, ela conta com um ambiente de desenvolvimento integrado e utiliza a linguagem de programação C#, baseada em conceitos de programação orientada a objetos, o que facilita a implementação e otimização dos aplicativos.

Durante a criação dos aplicativos de RA existem algumas configurações padrões para todos os aplicativos que foram desenvolvidos. Dentre as quais podemos citar as configurações do *Project Settings*:

- Ativar o ARCore na plataforma Android no XR Plugin
- API (interface de programação de aplicação) mínimo 8.0 - nível 26
- Deletar Vulkan no auto graphics uma vez que é um pacote não mais suportado (a depender da versão da Unity)
- Ativar a renderização para ARM64

Além disso, a forma simplificada para desenvolvimento da base dos softwares seguem o mesmo padrão, a saber:

1. Criar um projeto AR ou projeto 3D;
2. Caso crie um projeto 3D: deletar *main camera* e instalar o pacote AR Foundation;
3. Criar um novo XR Origin e um AR Session, a depender da versão da Unity utilizada;
4. Alterar o fundo da *main camera* do XR Origin, se desejado;
5. Alterar as configurações do projeto em Project Settings;
6. Adicionar os GameObjects e demais funções do aplicativo;
7. Verificar se todas as estruturas GameObjects a serem projetadas estão com a gravidade desativada no componente Rigidbody;
8. Alterar a plataforma de desenvolvimento;
9. Implementar o aplicativo e testá-lo.

### 3.1.2 Scripts Desenvolvidos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram empregadas duas linguagens de programação: Python e C#. A plataforma Unity, que foi utilizada para o desenvolvimento dos aplicativos, é baseada em C#, portanto todos os scripts para a interação e formatação dos aplicativos foram desenvolvidos elaborados nessa linguagem. No entanto, em situações específicas durante o curso do trabalho, foi necessária a utilização de programas escritos em Python principalmente para a conversão das extensões dos arquivos tridimensionais utilizados nos aplicativos.

As extensões originais dos arquivos geralmente eram .pdb, .x3d, .xyz ou .mol, características de arquivos de estruturas químicas, e precisavam ser convertidas para o formato .fbx, que foi a extensão compatível com os softwares em desenvolvimento na Unity escolhida para este trabalho. Para realizar essas conversões, quando os conversores online existentes não apresentavam um desempenho satisfatório, foram desenvolvidos códigos em Python, utilizando as bibliotecas *py3Dmol* [69], *rdkit* [70] e *ase* [71] para converter as extensões (.pdb, .mol, .xyz) para .x3d, e, posteriormente, o arquivo .x3d era convertido para .fbx por meio de uma ferramenta online de conversão [72]. Outra forma de conversão utilizada em alguns casos desse trabalho foi pelo uso do Blender, conforme subseção 2.4.1.

Os scripts em C# foram responsáveis por garantir a interatividade nos aplicativos desenvolvidos. Assim, os scripts principais tinham funções como assegurar o funcionamento do menu dos aplicativos, a troca de cenas, a interação com os objetos tridimensionais projetados no ambiente, a possibilidade de troca de objetos projetados, entre outras funcionalidades.

Durante o processo de programação para a Unity, foram observados alguns pontos cruciais para o pleno funcionamento dos códigos, como a necessidade de o nome do arquivo com a extensão .cs ser idêntico ao nome da classe criada no espaço *MonoBehaviour*, a atenção a qual *void* os pedaços de código estão inseridos e a correta visibilidade das variáveis criadas (privado ou público). Funcionalidades que necessitassem ser modificadas durante a utilização do software, que precisassem ser chamadas por outros códigos e métodos, e que pudessem ser acessadas diretamente pela tela de desenvolvimento da Unity deveriam sempre ser criadas como públicas.

Alguns dos scripts mais relevantes desenvolvidos para este trabalho podem ser encontrados no Apêndice C. Dentre eles há códigos para as seguintes funcionalidades:

- i. Movimentação entre as páginas do aplicativo desenvolvido;
- ii. Interação direta com o objeto 3D projetado em tela para zoom e rotação - utilizado a partir do *IsomeriaApp*;
- iii. Troca entre os objetos projetados em tela;

- iv. Interação via slider para aplicar zoom no objeto 3D projetado;
- v. Interação direta com o objeto 3D projetado em tela para aplicar rotação;
- vi. Controle das cenas via menu principal;
- vii. Interação com o PopUp de informações.

### 3.1.3 Aplicativo de Zeólitas (ZeoliteApp)

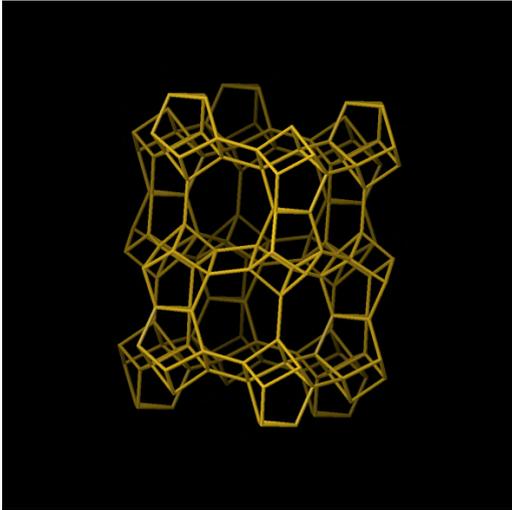
O primeiro aplicativo foi desenvolvido considerando como público alvo a pós graduação em engenharia química. Portanto, optou-se por aplicar o software na disciplina de Catálise Heterogênea e o objetivo por trás do aplicativo envolvia a projeção da estrutura de zeólitas.

As zeólitas são materiais cristalinos altamente organizados compostos principalmente por alumínio, silício e oxigênio, formando uma rede tridimensional de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  e  $\text{AlO}_4$  interligados. Essa estrutura gera canais e cavidades com dimensões moleculares, que conferem às zeólitas propriedades únicas, como alta área superficial, seletividade molecular e acidez ajustável. Elas são amplamente utilizadas em processos catalíticos, separação molecular e troca iônica, com aplicações que vão desde a indústria petroquímica até tratamentos ambientais [73].

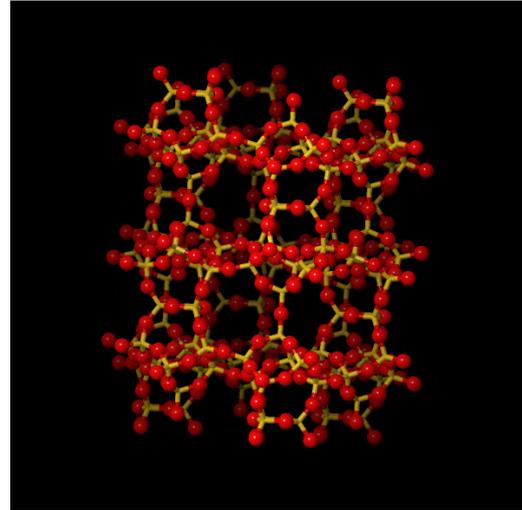
Uma das razões pelas quais as zeólitas são consideradas estruturas complexas está na sua diversidade estrutural. Existem mais de 250 tipos de zeólitas conhecidas, cada uma com diferentes tamanhos e geometrias de poros. Além disso, suas propriedades químicas e físicas podem ser modificadas por substituições isomórficas ou pela incorporação de metais nas cavidades, permitindo personalizações específicas para aplicações industriais e científicas [74]. Essa complexidade torna o estudo e a visualização dessas estruturas desafiadores, especialmente em ambientes educacionais, onde a abstração tridimensional pode dificultar o aprendizado.

As estruturas das zeólitas que seriam projetadas foram obtidas por meio do download dos arquivos tridimensionais dos *framework* de cada zeólita por meio do site da IZA (*International Zeolite Association*) [75] na extensão .x3d. Essa extensão, porém, não é reconhecida pela Unity, portanto foi realizada uma conversão para a extensão .fbx com auxílio de um conversor online gratuito [72].

No próprio site do IZA existem algumas configurações padrões que podem ser realizadas nas estruturas. Para este trabalho optou-se por utilizar as estruturas com o número de células unitárias padrões que já é selecionado no sistema, e por utilizar duas representações dos frameworks: uma apenas com os átomos de silício em bastões de 0.15, conforme exemplo apresentado na Figura 3.1a e outra com os átomos de silício e oxigênio no estilo bolas e bastões, em que as bolas, em vermelho, representam o oxigênio, conforme exemplo apresentado na Figura 3.1b.



(a) Apenas átomos de Si em bastões de 0.15



(b) Átomos de Si e O no estilo bolas e bastões

Figura 3.1: Exemplos de *frameworks* obtidos pelo site do IZA.

Como forma de aprimorar o aplicativo desenvolvido optou-se por permitir a interação do usuário com a estrutura projetada. Essa interação se dava por meio da possibilidade de rotação da estrutura e da aplicação de zoom, permitindo que o usuário visualizasse a estrutura a partir de diferentes ângulos e até "entrasse" nelas.

Na primeira versão do aplicativo ZeoliteApp, a funcionalidade de zoom foi implementada por meio de um slider posicionado no canto superior direito da tela do aparelho móvel (conforme Figura 4.3). Essa abordagem foi adotada devido a limitações nas primeiras versões dos *scripts* de interação, que não distinguiam corretamente o gesto de pinça para zoom do toque para rotação. Para contornar essa dificuldade, foi desenvolvida uma solução alternativa que permitisse a manipulação separada dessas funções. Nas versões mais recentes dos aplicativos, incluindo atualizações do ZeoliteApp, foi implementado um aprimoramento no reconhecimento de gestos, possibilitando a aplicação de zoom e rotação diretamente na estrutura projetada por meio do toque na tela.

Além disso, o software apresenta outras duas funcionalidades: a possibilidade de visualizar os oxigênios contidos na estrutura, o que evidencia a complexidade da molécula, e a opção de visualização de um *PopUp* contendo informações básicas, previamente selecionadas pelo docente da disciplina, sobre as estruturas projetadas.

### 3.1.4 Aplicativo de Isomeria (IsomeriaApp)

Durante a realização do trabalho percebeu-se que aplicar o software de zeólitas apenas na turma de pós graduação com esse escopo não geraria espaço amostral suficiente para uma avaliação dos benefícios da utilização da RA como ferramenta de ensino. Uma alternativa encontrada para aumentar o número de pessoas avaliando

o aplicativo foi a aplicação dele em turmas de graduação em engenharia química e áreas correlatas. Com isso encontrou-se um dilema: não existiam alunos suficientes na turma de pós graduação e o conteúdo do aplicativo *ZeoliteApp* não constava na ementa de nenhuma disciplina de graduação para que justificasse sua aplicação. Como forma de resolução desse problema desenvolveu-se um segundo aplicativo, o *Isomeria App*.

O *IsomeriaApp*, como o nome já sugere, é um aplicativo de RA voltado para a parte de estereoquímica do conteúdo programático das disciplinas de Química Orgânica, em que são projetados exemplos de isômeros em cada uma das categorias existentes.

Para criação das estruturas químicas que são projetadas foi necessário a utilização de alguns softwares: o *ChemSketch* para desenhar as estruturas manualmente e o *Blender* para conversão e ajustes finos de cada estrutura desenhada.

O ChemSketch foi utilizado para desenhar as estruturas químicas necessárias. Após o design das moléculas no software, as estruturas foram exportadas no formato .pdb. Posteriormente, utilizou-se o Blender para ajustes finos, como por exemplo a inserção das ligações  $\pi$  em ligações duplas. Após a edição, as estruturas foram convertidas no próprio Blender para o formato .fbx, compatível com o Unity, garantindo a integração perfeita das moléculas no aplicativo de RA desenvolvido. Esse processo foi crucial para garantir a precisão visual e a funcionalidade das projeções moleculares tridimensionais em RA.

No IsomeriaApp há exemplos para todos os tipos de isomeria estudadas na disciplina. Apenas as seções de diastereoisomeria e isomeria conformacional, ambas em isomeria espacial, ainda encontram-se em desenvolvimento devido às dificuldades existentes para projetar esses tipos de isomeria, considerando que suas visualizações são mais fáceis num plano 2D.

## 3.2 Procedimento de Aplicação dos Softwares Desenvolvidos nas Turmas

Essa seção descreve as etapas seguidas para a implementação dos aplicativos de RA nas turmas selecionadas, com o objetivo de avaliar sua eficácia no processo de ensino-aprendizagem. A seguir, são apresentados os detalhes do contexto das turmas envolvidas, o procedimento de uso em sala de aula e as considerações sobre usabilidade e design educacional, com foco na adaptação dos aplicativos às diferentes realidades acadêmicas e nas estratégias utilizadas para promover um aprendizado ativo e significativo

### 3.2.1 Contexto das Turmas

As turmas selecionadas para a aplicação dos aplicativos foram compostas por estudantes de diferentes níveis de escolaridade, com o objetivo de avaliar a eficácia das ferramentas educacionais em contextos distintos. A primeira turma foi composta por alunos de pós-graduação do Programa de Engenharia Química (PEQ) da COPPE / UFRJ, focada na disciplina de catálise. A segunda turma foi composta por alunos de graduação do Instituto de Química da UFRJ (IQ), dentre os cursos de Bacharel em Química e suas Atribuições Tecnológicas e Bacharel em Ciências da Matemática e da Terra, que estivessem cursando a disciplina de Química Orgânica oferecida pelo IQ, com um bom nível de conhecimento prévio. A terceira e quarta turmas foram de escolas de curso ensino médio técnico em química, com alunos no 4<sup>o</sup> e 6<sup>o</sup> períodos do curso, o que proporcionou uma amostra variada de idades e níveis de familiaridade com os conteúdos abordados. Essas turmas foram escolhidas para refletir a diversidade de público-alvo que pode se beneficiar do uso de RA no ensino de conceitos complexos, como a visualização de estruturas tridimensionais de zeólitas e a compreensão de conceitos estereoquímicos.

### 3.2.2 Procedimento de Uso em Sala de Aula

Os aplicativos foram introduzidos durante as aulas como uma ferramenta complementar à metodologia tradicional de ensino. Antes da utilização dos aplicativos, os estudantes foram informados sobre o objetivo da atividade e como utilizar as ferramentas de forma eficaz, além de terem sido submetidos a um formulário prévio para avaliação do conhecimento da aplicação de RA no ensino que eles possuíam.

Para a turma de pós graduação, o foco foi na exploração e interação com as estruturas tridimensionais de zeólitas, permitindo que os alunos manipulassem e observassem os detalhes das estruturas a partir de diferentes ângulos e perspectivas. Já nas turmas de graduação e do ensino médio técnico, o aplicativo de estereoquímica foi utilizado para promover uma melhor compreensão das moléculas, com ênfase em isomeria e estereoquímica.

Os alunos instalaram os aplicativos nos seus próprios celulares e então eles puderam interagir com os modelos 3D das moléculas, rotacionando e ampliando as estruturas para identificar características específicas. Durante as atividades, os estudantes receberam suporte técnico e orientação pedagógica para garantir o uso adequado dos aplicativos.

Após a utilização do aplicativo, durante um período de tempo pré determinado pelos professores de cada disciplina, os alunos foram submetidos a um formulário de avaliação pós uso do aplicativo. Esses formulários e suas aplicações serão detalhados na Seção 3.3.

### 3.2.3 Considerações de Usabilidade e Design Educacional

A usabilidade e o design educacional dos aplicativos foram cuidadosamente planejados para assegurar uma experiência de uso intuitiva e eficaz para os estudantes. O design visual foi desenvolvido com aspecto simples, adotando interfaces limpas e claras, com o intuito de minimizar distrações e otimizar a interação com os modelos tridimensionais. A navegação foi aprimorada, permitindo que os usuários se familiarizassem rapidamente com as funcionalidades do aplicativo, como zoom, rotação e alteração da visualização. As funcionalidades interativas passaram por rigorosos testes para garantir um processo fluido, sem complicações técnicas que pudessem comprometer a compreensão dos conceitos abordados.

Aspectos pedagógicos também foram considerados de maneira cuidadosa, com a intenção de tornar os aplicativos não apenas ferramentas de visualização, mas também recursos que facilitam o aprendizado ativo. Para tal, foram realizadas conversas com os docentes, a fim de compreender suas necessidades específicas em relação às funcionalidades dos aplicativos. Um exemplo disso foi a implementação do pop-up de informações no *ZeoliteApp*, como descrito nas Seções 3.1.3 e 4.2.1.

Para evitar eventuais dificuldades na utilização dos aplicativos, foram elaborados manuais de uso detalhados, os quais estão disponíveis juntamente com os arquivos .apk para download dos aplicativos.

## 3.3 Formulários de Avaliação

Nesta seção descreve-se o processo de desenvolvimento e aplicação dos formulários utilizados para avaliar a eficácia do aplicativo de RA nas turmas envolvidas. Os formulários foram aplicados antes e após o uso do app, com o objetivo de mensurar a familiaridade dos participantes com RA, o engajamento durante a atividade e a compreensão dos conceitos dos temas que seriam tratados nos aplicativos. As subseções a seguir detalham como os formulários foram estruturados e como foram aplicados nas diferentes fases da pesquisa.

### 3.3.1 Desenvolvimento e Estrutura dos Formulários

Os formulários de avaliação foram uma parte fundamental da metodologia adotada nesta dissertação, com o objetivo de avaliar o impacto dos aplicativos de RA na compreensão dos conceitos de isomeria, especialmente no que se refere à isomeria espacial, bem como na visualização de estruturas de zeólitas e na análise de suas propriedades. Além disso, os formulários buscavam medir o nível de engajamento e a receptividade ao uso de RA no ensino, considerando diferentes aspectos da experiência educacional proporcionada por essas ferramentas.

O desenvolvimento dos formulários foi realizado com base nos objetivos de medir não apenas a eficácia dos aplicativos, mas também o grau de familiaridade e a experiência dos participantes com a RA antes e após o uso das ferramentas. A abordagem foi projetada para refletir tanto as percepções relacionadas à química, no contexto da isomeria, abordada no *IsomeriaApp*, quanto à compreensão das estruturas de zeólitas, um tema mais técnico e aplicado, abordado no *ZeoliteApp*.

Para a estruturação, os formulários foram divididos em duas partes: uma para a avaliação pré-uso e outra para a pós-uso. Na seção pré-uso, as questões focaram em aspectos como o nível de familiaridade dos participantes com RA, o conhecimento prévio sobre isomeria e zeólitas, e as expectativas em relação ao uso de uma ferramenta de RA para o ensino de temas de química. Já na seção pós-uso, as questões buscavam medir a mudança na compreensão dos conceitos abordados, a facilidade de uso do aplicativo, o aumento do engajamento e o interesse em continuar utilizando RA no ensino de outras disciplinas, incluindo a área de catálise e materiais, como as zeólitas.

As perguntas foram formuladas para captar tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos, com escalas de Likert para medir níveis de concordância e algumas questões abertas para permitir uma reflexão mais profunda dos participantes sobre sua experiência com os aplicativos. Além disso, foram incluídas perguntas relacionadas ao feedback sobre a usabilidade dos apps, permitindo identificar pontos fortes e áreas que necessitam de melhorias. As avaliações também buscaram observar como a visualização em 3D e a interação com as estruturas impactaram a compreensão dos temas abordados, tanto em relação à isomeria espacial quanto às estruturas das zeólitas.

Os formulários desenvolvidos foram estruturados para possibilitar uma análise detalhada do impacto pedagógico do uso da RA, permitindo a coleta de dados sobre as percepções e compreensões dos alunos antes e após o uso dos aplicativos. As avaliações contemplaram tanto o ensino de isomeria quanto de zeólitas, garantindo uma abordagem abrangente para medir a eficácia da RA na transmissão de conceitos complexos de forma interativa e envolvente.

### **3.3.2 Aplicação dos Formulários Pré Uso do App e Pós Uso do App**

A aplicação dos formulários foi feita em quatro grupos distintos: um de pós graduação, um de graduação e dois de ensino técnico, o que possibilitou observar o impacto do aplicativo em diferentes níveis de conhecimento e familiaridade com o tema. Antes da utilização do app, os formulários pré-uso foram aplicados para estabelecer uma linha de base, coletando informações sobre o conhecimento prévio

dos participantes sobre os conceitos de isomeria e sua experiência com tecnologias como a RA. Esse momento foi crucial para identificar possíveis lacunas no conhecimento que poderiam ser preenchidos pela experiência do uso do app, bem como as expectativas dos participantes em relação à utilização de RA no ensino.

Após a utilização do aplicativo, os formulários pós-uso foram distribuídos para avaliar as mudanças percebidas nos participantes em relação ao entendimento dos conceitos abordados, a facilidade de uso do app, o engajamento com a atividade proposta e o interesse em utilizar RA em contextos educacionais futuros. Durante a aplicação, foram feitas considerações sobre o ambiente de uso, como a acessibilidade dos dispositivos e o tempo disponível para a interação com a ferramenta. Os dados coletados a partir dessas duas etapas ajudaram a formar uma visão clara sobre a eficácia do aplicativo no processo de ensino-aprendizagem e forneceram percepções valiosas para aprimorar a ferramenta e suas futuras implementações.

Essas duas etapas de avaliação, quando combinadas, possibilitaram uma análise comparativa detalhada entre as percepções e os conhecimentos dos participantes antes e depois da utilização dos aplicativos. Para isso, os dados foram analisados quantitativamente, comparando as respostas dos formulários prévio e pós-uso com base na escala Likert, permitindo identificar mudanças na compreensão dos conceitos trabalhados, como isomeria e estruturas cristalinas de zeólitas, bem como na familiaridade dos participantes com a RA como ferramenta educacional. A variação das respostas permitiu avaliar a evolução no entendimento dos temas abordados, identificando o percentual de alunos que relataram maior clareza conceitual após a experiência interativa com os aplicativos.

Além da análise quantitativa, aspectos qualitativos foram considerados a partir das opiniões registradas nos formulários, permitindo identificar padrões de aceitação, desafios encontrados na utilização dos aplicativos e sugestões para aprimoramento. A avaliação comparativa levou em conta variáveis como nível educacional (pós-graduação, graduação e ensino médio técnico), grau de familiaridade prévia com os conceitos abordados, facilidade percebida na utilização da ferramenta, nível de engajamento e interesse na aplicação da RA em contextos educacionais futuros. Dessa forma, a combinação das respostas forneceu dados essenciais para avaliar o impacto da RA no ensino dos conceitos explorados, destacando suas potencialidades pedagógicas e identificando oportunidades para aperfeiçoamento das ferramentas e suas futuras aplicações no ensino de engenharia química.

# Capítulo 4

## Resultados e Discussões

Neste capítulo, são apresentados e analisados os resultados obtidos a partir do desenvolvimento, aplicação e avaliação dos aplicativos de RA *ZeoliteApp* e *IsomeriaApp*, criados com o intuito de facilitar o ensino de conceitos complexos em engenharia química.

Inicialmente, são descritas as versões finais dos aplicativos, acompanhadas de uma explicação detalhada sobre suas funcionalidades e instruções para acesso. Em seguida, é abordada a metodologia utilizada para avaliar a aplicação desses softwares nas salas de aula. Na sequência, uma análise descritiva detalha o perfil dos participantes, os resultados obtidos a partir dos formulários aplicados e as sugestões de melhorias específicas para cada um dos aplicativos.

Por fim, são discutidos aspectos gerais e comparativos entre os grupos de participantes, assim como as implicações do uso da RA no ensino de ciências. O capítulo também oferece uma análise crítica das limitações enfrentadas ao longo do estudo e apresenta sugestões para o aprimoramento das ferramentas, além de apontar direções para futuros estudos, considerando o potencial de desenvolvimento dessas tecnologias no contexto educacional.

### 4.1 Aplicativos Desenvolvidos

Esta seção fornece uma visão geral das versões finais dos dois aplicativos desenvolvidos, *ZeoliteApp* e *IsomeriaApp*, com uma descrição das principais funcionalidades, design e objetivos educacionais de cada um. No Apêndice D, estão disponibilizados os guias do usuário desenvolvidos para os aplicativos, contendo instruções de instalação e descrição de suas funcionalidades para auxiliar na utilização.

No Apêndice E estão expostos brevemente outros aplicativos que foram desenvolvidos para fins diversos durante o período de escrita da dissertação.

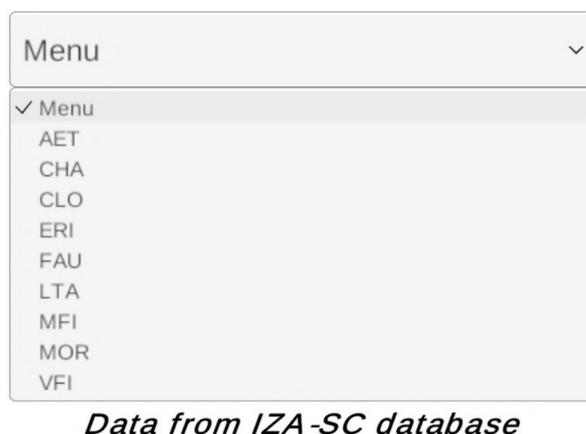
### 4.1.1 Aplicativo de Zeólitas

O aplicativo *ZeoliteApp* foi o primeiro a ser projetado e desenvolvido, com o objetivo de facilitar as aulas de Catálise Heterogênea no Programa de Engenharia Química. Sua principal função é permitir a visualização das nove zeólitas mais conhecidas e frequentemente abordadas durante as aulas, servindo como exemplo prático para o ensino dessa parte da disciplina, conforme indicado pelos professores. Seu manual de uso encontra-se disponível no Apêndice D.

A Figura 4.1a apresenta a tela inicial do aplicativo. Nela tem-se um menu em formato *dropdown* (Figura 4.1b) onde pode-se selecionar qual zeólita será projetada. A partir dessa seleção, o programa inicia a câmera do aparelho móvel e projeta a estrutura utilizando a tecnologia da RA, como é apresentado na Figura 4.2.



(a) Página Inicial.



(b) Menu Dropdown.

Figura 4.1: Página de Menu Inicial e Opções do Menu Dropdown do Aplicativo *ZeoliteApp*.

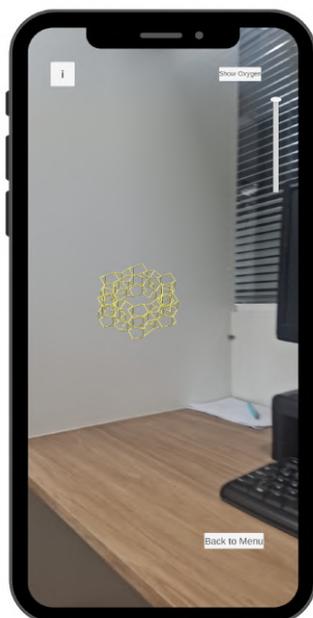


Figura 4.2: Página de Visualização da Zeólita [ZeoliteApp].

O usuário pode interagir com a estrutura pelo *slider* para aplicar o zoom ou pela interação diretamente na estrutura para rotacioná-la, conforme demonstrado na Figura 4.3, onde a seta rosa demonstra como rotacionar a estrutura e o oval laranja demarca o *slider*.

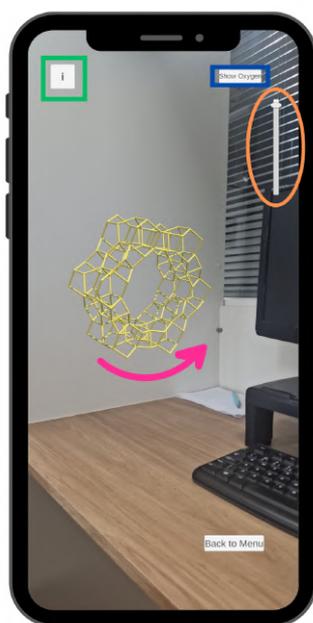


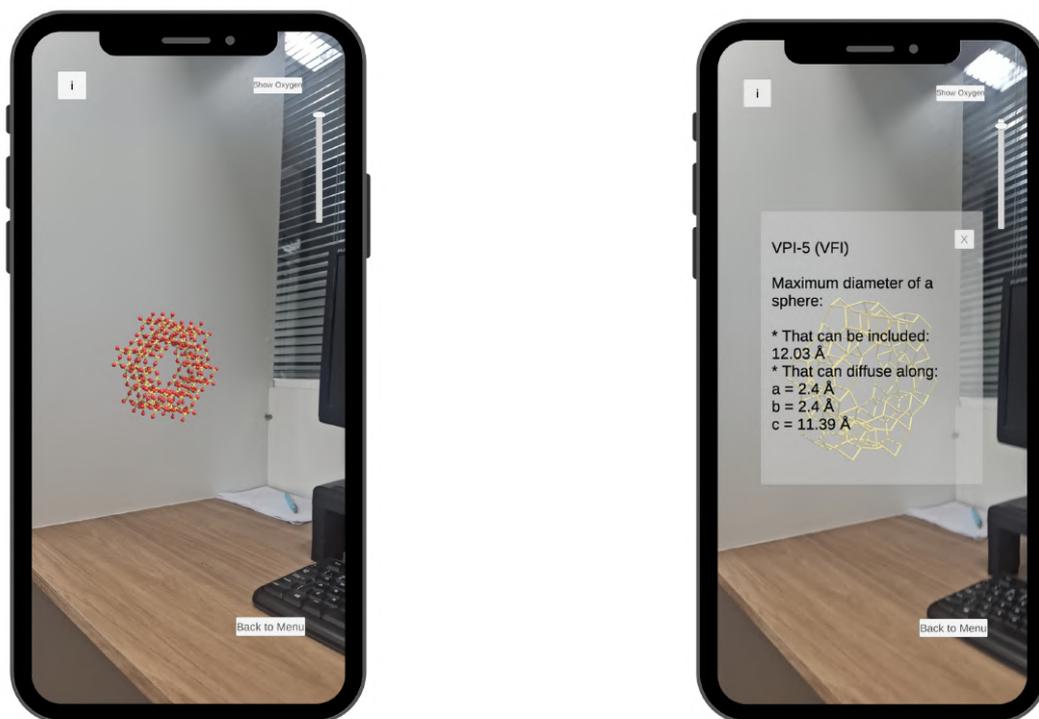
Figura 4.3: Formas de Interação com a Estrutura no *ZeoliteApp*.

Em verde: botão para abertura do PopUp de informações; em azul: botão para visualização dos oxigênios na estrutura; em rosa: demonstração de como rotacionar a estrutura; e em laranja: slider para aplicação de zoom.

Além da possibilidade de interação com a estrutura projetada, função padrão

de todos os aplicativos desenvolvidos nesse trabalho, uma funcionalidade exclusiva desse aplicativo é o botão intitulado "*Show Oxygen*" (*Mostrar os Oxigênios*, em português), demarcado de azul na Figura 4.3, que altera a estrutura cristalina da zeólita apresentada para uma estrutura com a representação dos átomos de oxigênio, conforme Figura 4.4a, o que facilitava o entendimento da complexidade desses aluminossilicatos complexos.

Outra função que o aplicativo apresenta é um PopUp de informações sobre a zeólita projetada, a partir do botão demarcado de verde na Figura 4.3. Essas informações (Figura 4.4b), previamente selecionadas pelos professores ministrantes da disciplina, também foram retiradas da mesma base de dados de onde extraíram-se as estruturas. Para fechar o PopUp basta clicar no X. E, para retornar ao menu principal do aplicativo, basta utilizar o botão "*Back to Menu*" no canto inferior direito da tela.



(a) Visualização da Zeólita com os Oxigênios.

(b) Visualização do PopUp de Informações.

Figura 4.4: Páginas de Visualização da Zeólita [*ZeoliteApp*].

## 4.1.2 Aplicativo de Isomeria

O aplicativo *IsomeriaApp* foi desenvolvido pensando nas turmas de graduação e de ensino médio. Seu objetivo é facilitar o entendimento dos conceitos de estereoquímica e isomeria que são apresentados nas aulas de Química Orgânica. Sendo

assim, o aplicativo é subdividido em dois grandes menus para cada tipo de isomeria: estrutural e espacial. Além disso, seu manual de uso encontra-se disponível no Apêndice D.

A Figura 4.5 apresenta a tela inicial do aplicativo. A partir dela pode-se selecionar qual grande área da isomeria o usuário quer estudar. Cada área apresentará um submenu com cada tipo de isomeria existente. A Figura 4.6a apresenta o submenu da grande área Isomeria Estrutural enquanto a Figura 4.6b apresenta o submenu da grande área de Isomeria Espacial.

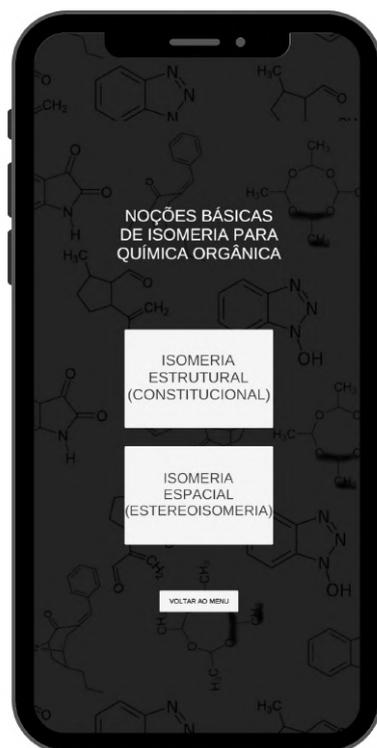
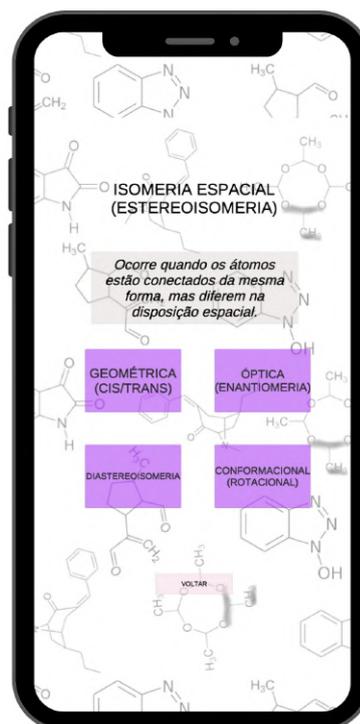


Figura 4.5: Página Inicial do Aplicativo *IsomeriaApp*.



(a) Isomeria Estrutural.



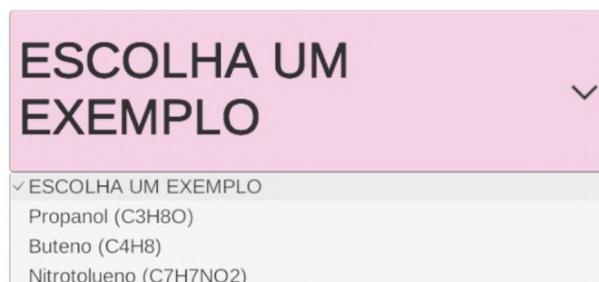
(b) Isomeria Espacial.

Figura 4.6: Páginas dos Submenus do Aplicativo *IsomeriaApp* .

Dentro de cada tipo de isomeria, como no exemplo da Figura 4.7a, temos um menu *drowpdown* com alguns exemplos da categoria escolhida (Figura 4.7b). A partir da seleção do exemplo desejado, o programa inicia a câmera do aparelho móvel e projeta a estrutura utilizando a tecnologia da RA, como é apresentado na Figura 4.8.



(a) Menu Isomeria de Posição.



(b) Opções do Menu Dropdown.

Figura 4.7: Página de Menu e Opções do Menu Dropdown [Isomeria de Posição - IsomeriaApp] .



Figura 4.8: Página de Visualização da Estrutura [IsomeriaApp].

A interação com a estrutura no caso desse aplicativo é feita diretamente na estrutura, tanto para zoom quanto para rotação, não sendo necessária a utilização de um *slider* como no aplicativo *ZeoliteApp*.

Um diferencial desse aplicativo é a existência do botão "Isômeros", destacado em laranja na Figura 4.9a, que ao ser pressionado uma vez alterará a estrutura projetada para seu isômero junto com sua nomenclatura. Ao clicar duas vezes no botão, os isômeros aparecem juntos na tela (Figura 4.9b), para facilitar a comparação entre eles e a visualização da isomeria estudada.



(a) Funcionalidades da Página.



(b) Alteração dos Isômeros.

Figura 4.9: Página de Visualização da Estrutura no Aplicativo *IsomeriaApp* .

### 4.1.3 Limitações Técnicas

Durante o desenvolvimento dos aplicativos de RA para ensino, enfrentaram-se desafios técnicos que limitaram a abrangência e a aplicabilidade das soluções propostas. Um dos principais obstáculos foi a impossibilidade de criar versões dos aplicativos para dispositivos iOS. Isso ocorreu devido a restrições do sistema operacional da Apple, que exige o uso de ferramentas de desenvolvimento específicas e licenças pagas, além de requerer que os aplicativos sejam publicados na App Store. Como o desenvolvimento foi realizado com recursos limitados e focado no ARCore, que é otimizado para dispositivos Android, essa compatibilidade não foi alcançada.

Outra dificuldade significativa foi a implementação de versões dos aplicativos para uso em navegadores *web*. Apesar da Unity não permitir o desenvolvimento direto para navegadores *web*, ela permite a integração com pacotes de exportação dos aplicativos na versão *web*, como o *WebXR Exporter*. Porém essa exportação não é trivial e está sujeita a limitações de compatibilidade das versões da Unity e dos

pacotes de exportação, além de existir um suporte limitado para uso da RA nos navegadores atuais.

Essas limitações técnicas estão profundamente enraizadas nas características das plataformas de desenvolvimento e nos requisitos computacionais das tecnologias empregadas. A necessidade de um ambiente robusto para rodar a RA, tanto em dispositivos móveis quanto na web, exige ferramentas de desenvolvimento e hardware que nem sempre são acessíveis em projetos acadêmicos.

Como consequência, o alcance dos aplicativos foi restrito aos dispositivos Android, o que limitou a acessibilidade para participantes que utilizam dispositivos iOS. Além disso, a ausência de uma versão para navegadores reduziu a possibilidade de acesso remoto e uso em dispositivos que não suportam aplicativos móveis, como computadores ou tablets sem suporte ao ARCore. Essas restrições impactaram diretamente a aplicabilidade dos aplicativos, uma vez que alguns participantes interessados não puderam experimentar as soluções devido às limitações de seus dispositivos.

Embora essas limitações não comprometam a validade dos resultados obtidos, elas evidenciam a importância de recursos mais robustos e maior suporte técnico para projetos futuros. Para ampliar o alcance e a acessibilidade dos aplicativos, seria necessário investir em ferramentas multiplataforma e na adaptação para tecnologias emergentes, como *frameworks* que facilitem a integração entre dispositivos móveis e navegadores *web*. Tais avanços poderiam ampliar o impacto do uso de RA na educação, permitindo que um público mais diverso e amplo se beneficie dessas tecnologias.

## 4.2 Análise Descritiva dos Resultados por Aplicativos

Para avaliar a utilidade dos aplicativos em sala de aula, os participantes responderam a dois formulários anônimos: um pré-uso e outro pós-uso. Ambos continham perguntas de múltipla escolha, utilizando uma escala Likert com as opções Não Concordo, Neutro e Concordo.

O formulário pré-uso teve como objetivo principal identificar o conhecimento prévio dos participantes sobre o uso da RA no ensino, permitindo a formulação de perguntas específicas para cada subgrupo. Já o formulário pós-uso incluiu questões voltadas à avaliação do impacto do aplicativo e uma seção específica sobre o design dos softwares desenvolvidos. As tabelas com todas as perguntas aplicadas podem ser consultadas no Apêndice A desta dissertação.

Apesar das diversas tentativas de ampliar o número de respostas e avaliações

dos aplicativos desenvolvidos, não foi possível atingir um quantitativo suficiente para uma análise aprofundada utilizando técnicas estatísticas. Esse resultado pode ser atribuído ao curto período disponível para o desenvolvimento do trabalho e para a aplicação dos softwares desenvolvidos (apps) nas salas de aula, uma vez que as turmas ocorriam apenas uma vez por ano. O processo de desenvolvimento dos aplicativos demandou uma parte significativa do ano, e a necessidade de estabelecer contato com os professores e realizar apresentações nas turmas limitou a aplicação em uma quantidade maior de cenários.

Como alternativa à análise estatística dos dados, optou-se por realizar uma análise descritiva, com comparações dos resultados obtidos e considerações qualitativas baseadas nos relatos dos participantes. Essa abordagem tem sido amplamente utilizada em estudos que avaliam o impacto da RA na educação, especialmente quando a amostragem limitada impede inferências estatísticas robustas [12–14].

Trabalhos anteriores destacam que a análise descritiva permite capturar percepções subjetivas, dificuldades enfrentadas e benefícios relatados, fornecendo informações valiosas para a compreensão da aceitação e da aplicabilidade da tecnologia em sala de aula [15, 16, 24]. Além disso, pesquisas como as de DE AZEVEDO PEDROSA e ZAPPALA-GUIMARÃES (2019) e FOMBONA-PASCUAL et al. (2022) demonstram que os relatos qualitativos, complementados por observações sobre o uso da tecnologia, oferecem percepções relevantes sobre o engajamento dos alunos e a eficácia da RA, contribuindo para o aprimoramento das ferramentas desenvolvidas [17, 20].

Nesta seção, os resultados são apresentados de forma segmentada por aplicativo, com o objetivo de fornecer uma visão geral das avaliações realizadas, sem desconsiderar que cada aplicativo contou com um formulário específico de análise. Os aplicativos adicionais desenvolvidos não possuem resultados de avaliação disponíveis e, por essa razão, não serão abordados a partir desta seção.

## 4.2.1 Aplicativo de Zeólitas

### 4.2.1.1 *Perfil dos Participantes*

O público-alvo do aplicativo *ZeoliteApp* foi a turma de 2024 da disciplina de Catálise Heterogênea (COQ777) do Programa de Engenharia Química da COPPE/UFRJ. Essa turma contou com quatro (4) alunos, dos quais três (3) possuíam dispositivos móveis com sistema operacional Android e, portanto, puderam instalar o aplicativo desenvolvido. O aluno que não teve acesso ao aplicativo em seu dispositivo acompanhou a utilização durante a aula, em parceria com um colega de turma. Apesar de não ter um sistema operacional compatível, esse aluno optou por responder aos formulários, tendo em vista que algumas questões não necessitavam

necessariamente da utilização da nossa ferramenta.

#### 4.2.1.2 Resultados dos Formulários

A aplicação dos formulários antes e depois do uso do aplicativo *ZeoliteApp* apresenta mudanças na percepção dos alunos sobre o uso da RA no ensino. Antes da experiência prática, a maioria dos participantes relatou estar familiarizada com o conceito de RA e sua diferença em relação à RV, porém todos afirmaram não possuir experiência com o uso de RA como ferramenta de ensino, como demonstrado no gráfico de resposta da Questão 5 do formulário prévio, representado na Figura 4.10.

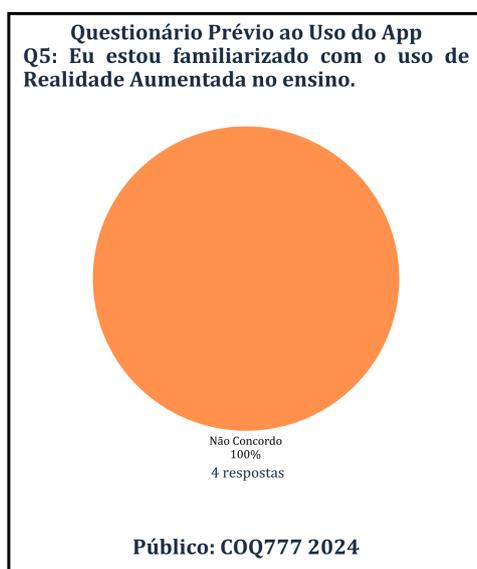


Figura 4.10: Respostas da Questão 5 do Formulário Prévio.

Após a utilização do aplicativo, observou-se uma melhora significativa na compreensão geral sobre RA, embora parte dos alunos ainda tenha reportado dificuldades em se sentir plenamente familiarizada com a aplicação prática dessa tecnologia em sala de aula, como mostra a Figura 4.11. Esse resultado sugere que a ferramenta foi capaz de introduzir conceitos fundamentais, mas não substituiu completamente a necessidade de experiência mais aprofundada. Além disso, pode-se considerar o fato de que um dos alunos não utilizou o aplicativo em seu próprio aparelho devido aos problemas com o sistema operacional já mencionado anteriormente, o que pode ter contribuído para o resultado "neutro".

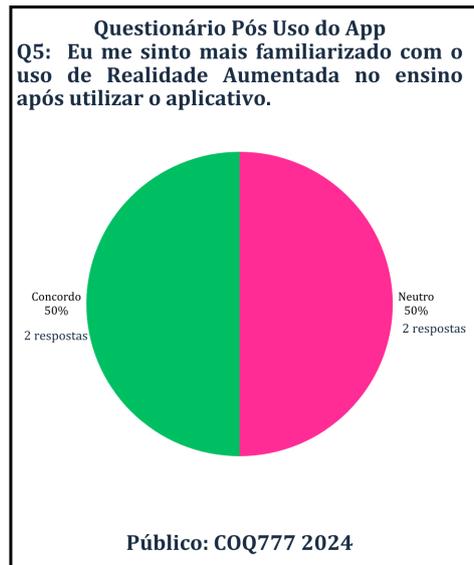


Figura 4.11: Respostas da Questão 5 do Formulário Pós Uso.

A percepção da eficácia da RA como ferramenta educacional permaneceu consistente ao longo dos dois questionários, com a maioria dos alunos concordando sobre seu potencial no ensino de conceitos complexos e no aumento do engajamento. No entanto, enquanto a expectativa inicial era unânime quanto ao impacto positivo no engajamento, os dados pós-uso mostraram variações nessa percepção, indicando que, embora a ferramenta tenha sido envolvente para alguns, outros não experimentaram um impacto tão significativo, conforme apresentado na comparação da Figura 4.12.

Isso aponta para diferenças individuais na interação com a tecnologia o que sugere a necessidade da busca de estratégias adicionais para maximizar o envolvimento de todos os alunos. Entre as estratégias que poderiam ser utilizadas, pode-se citar a personalização da experiência, permitindo que a RA seja ajustada ao nível de conhecimento e perfil de aprendizado de cada estudante, tornando a experiência mais acessível e significativa e a existência de um treinamento prévio para o uso da ferramenta, podendo reduzir dificuldades iniciais e aumentar a familiaridade dos alunos com a tecnologia. Além disso, a diversificação dos recursos didáticos, combinando a RA com materiais complementares, como vídeos explicativos e atividades práticas, pode favorecer uma abordagem multimodal, ampliando o engajamento e a compreensão dos conteúdos.

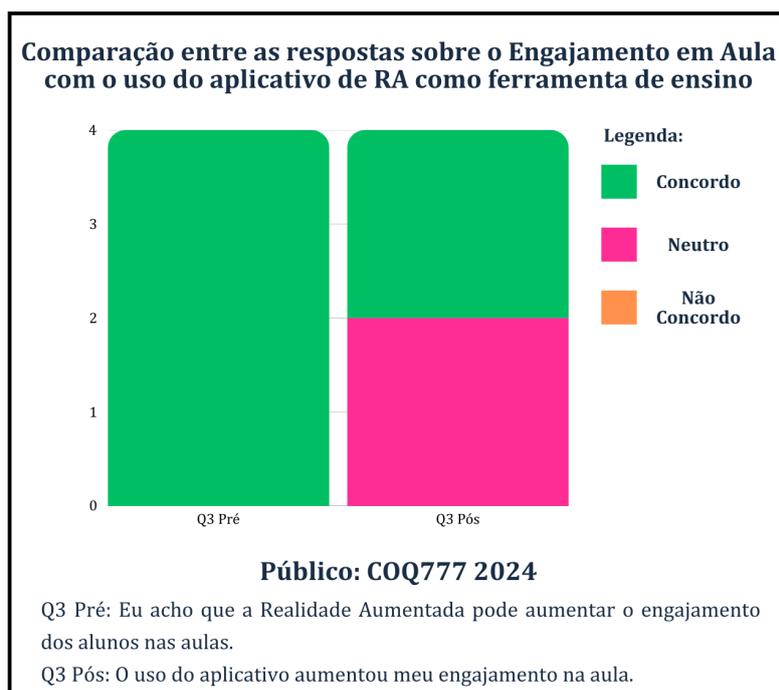


Figura 4.12: Comparação das Respostas às Questões 3 do Formulário Pré e Pós Uso.

No que diz respeito à compreensão de conceitos complexos e à estrutura das zeólitas, os resultados indicaram que a ferramenta atendeu em grande parte às expectativas. Os participantes confirmaram que a visualização tridimensional proporcionada pelo aplicativo foi esclarecedora e mais eficiente do que as representações tradicionais em livros e slides. Apesar disso, um pequeno grupo manteve opiniões neutras quanto à melhoria na compreensão de temas complexos, destacando a possibilidade de complementar o uso da ferramenta com explicações adicionais do professor ou atividades práticas.

O interesse em aprender mais sobre a aplicação da RA no ensino de ciências permaneceu elevado após o uso do aplicativo. Os participantes relataram maior motivação para explorar novas aplicações e ampliar o uso dessa tecnologia em diferentes contextos acadêmicos. Esse resultado reforça o potencial da RA como um estímulo ao aprendizado ativo e à curiosidade científica, validando sua aplicação como recurso pedagógico inovador.

A avaliação técnica do aplicativo apontou aspectos importantes para ajustes. A maioria dos participantes considerou a instalação fácil e funcional, mas houve ressalvas quanto à intuitividade da interface, ao design e à estabilidade técnica do software. Relatos de problemas técnicos sugerem a necessidade de aprimoramentos na usabilidade e na confiabilidade da ferramenta para garantir uma experiência mais fluida e satisfatória. A versão utilizada nesse momento havia sido a primeira desenvolvida, o que pode contribuir para essas opiniões. Algumas considerações foram levadas em conta e uma segunda versão foi transmitida a alguns alunos que confir-

maram a melhora de alguns problemas previamente apontados como a manutenção da escala gráfica da interface independente do tamanho da tela do dispositivo móvel.

Esses resultados sugerem que o aplicativo ZeoliteApp possui um impacto positivo no aprendizado e na visualização de estruturas tridimensionais. No entanto, as variações na percepção de engajamento e as limitações técnicas identificadas evidenciam a importância de ajustes no software e de estratégias pedagógicas complementares.

A Tabela 4.1 apresenta as observações gerais pré uso e pós uso do aplicativo, a partir da análise das respostas ao formulário aplicado relativo ao *ZeoliteApp*, de forma resumida nas categorias:

- i.* Familiaridade com RA
- ii.* Engajamento
- iii.* Compreensão de Zeólitas
- iv.* Facilidade do uso do App
- v.* Interesse em aplicações de RA

Tabela 4.1: Resumo das Observações Pré e Pós Uso do ZeoliteApp

<b>Categoria</b>	<b>Pré-Uso</b>	<b>Pós-Uso</b>
Familiaridade com RA	Conceito conhecido, mas sem experiência prática.	Melhora na compreensão, mas lacunas na aplicação prática persistem.
Engajamento	Alta expectativa quanto ao aumento de engajamento.	Resultados mistos: impacto positivo para alguns, limitado para outros.
Compreensão de Zeólitas	Expectativa alta de melhorias na visualização tridimensional.	A ferramenta foi esclarecedora, mas reforço complementar pode ser necessário.
Facilidade do uso do App	Não avaliado.	Fácil instalação, mas interface e estabilidade técnica precisam de melhorias.
Interesse em aplicações de RA	Interesse elevado em aprender sobre novas aplicações.	Interesse mantido, com motivação para explorar mais usos.

### 4.2.1.3 *Sugestões de Melhorias Específicas*

Como sugestões de melhorias específicas fornecidas pelos usuários dessa aplicação pode-se citar:

- Manutenção da proporção do layout da interface gráfica independentemente do tamanho da tela do dispositivo móvel utilizado ( observação resolvida na segunda versão do aplicativo).
- Desenvolvimento para sistemas operacionais iOS ou uma versão web que não necessite de instalação.
- Alterar a posição "fixa" da estrutura projetada após iniciar o aplicativo.

## 4.2.2 **Aplicativo de Isomeria**

### 4.2.2.1 *Perfil dos Participantes*

O público-alvo do aplicativo *IsomeriaApp* abrangeu três turmas de contextos distintos, a saber:

- Turma de Química Orgânica 1 da graduação do Instituto de Química da UFRJ, no segundo semestre de 2024;
- Turma de 2024, do quarto período, do ensino médio técnico em Química do Colégio Flama, unidade Duque de Caxias;
- Turma de 2024, do sexto período, do ensino médio técnico em Química do Colégio Flama, unidade Duque de Caxias.

A turma de Química Orgânica 1 do IQ apresentou variação na frequência de presença durante as aulas. Consequentemente, o questionário prévio obteve um número maior de respostas em comparação com o questionário aplicado após o uso do aplicativo (conforme ilustrado nas Tabelas B.3 e B.4 do Apêndice B). Em virtude disso, optou-se por descartar as respostas "extras" obtidas no questionário prévio, resultando em um público final válido de oito (8) alunos para a análise.

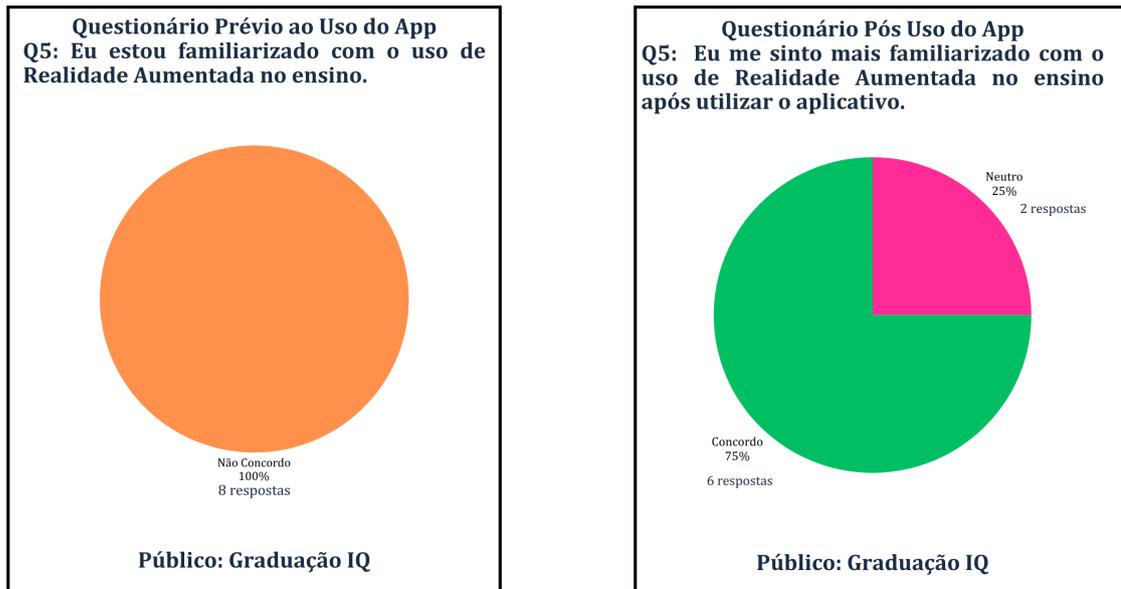
As turmas do ensino médio técnico em química apresentaram, respectivamente, dezesseis (16) e doze (12) respostas para o quarto e o sexto períodos.

### 4.2.2.2 *Resultados dos Formulários*

#### 4.2.2.2.1 *Turma de Graduação do IQ - UFRJ*

A análise dos dados obtidos nos formulários aplicados antes e depois do uso do aplicativo *IsomeriaApp* revelou considerações relevantes sobre o impacto da RA no

ensino de conceitos de isomeria. No questionário pré-uso, os alunos demonstraram familiaridade com o conceito geral de RA e com a diferença entre RA e RV, mas relataram não apresentar experiência prática com essa tecnologia aplicada como ferramenta de ensino, conforme apresentado na Figura 4.13a, semelhante ao visto na pós-graduação. Após a utilização do aplicativo, a maioria afirmou ter melhorado sua compreensão sobre RA, embora alguns ainda tenham apontado lacunas na aplicação prática, resultados apresentados na Figura 4.13b.



(a) Formulário Prévio.

(b) Formulário Pós Uso do App.

Figura 4.13: Respostas às Questões 5 dos Formulários Pré e Pós Uso do app

Com relação ao engajamento, as expectativas iniciais eram altas quanto à capacidade da RA de tornar as aulas mais dinâmicas e envolventes. Após o uso do aplicativo, os resultados indicaram um impacto positivo para alguns alunos, enquanto outros relataram uma experiência mais neutra, sugerindo diferenças individuais na interação com a ferramenta, como apresentado na comparação realizada na Figura 4.14. Esses resultados destacam a necessidade de estratégias pedagógicas complementares para manter o engajamento de forma mais uniforme.

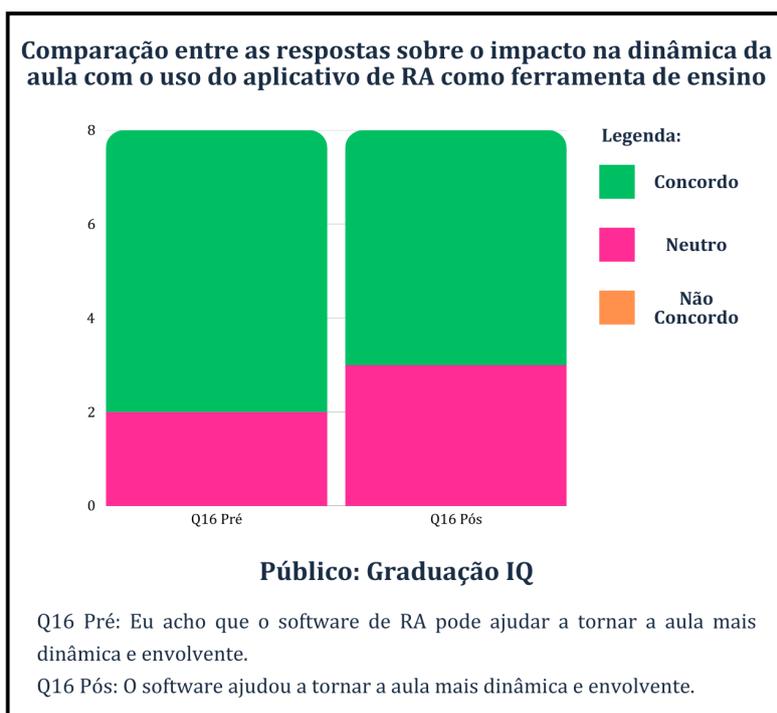


Figura 4.14: Comparação das Respostas às Questões 16 do Formulário Pré e Pós Uso do App.

No que diz respeito à compreensão de isomeria, os dados pré-uso mostraram que a maioria dos alunos já possuía familiaridade teórica com os conceitos de isomeria estrutural e espacial, mas esperavam que a RA proporcionasse uma visualização tridimensional mais esclarecedora. Após o uso do aplicativo, a percepção geral foi de que a ferramenta cumpriu esse papel, especialmente na diferenciação entre tipos de isomeria, como cis/trans e R/S. Ainda assim, houve registros isolados de respostas neutras.

O interesse em aplicações futuras da RA também foi avaliado. Antes do uso, os alunos já se mostravam motivados a explorar novas possibilidades para essa tecnologia no ensino de ciências. Após a experiência com o aplicativo, o interesse se manteve elevado, especialmente no que diz respeito à aplicação da RA em disciplinas correlatas às áreas de química, consolidando sua aceitação como ferramenta educacional promissora.

Por fim, a avaliação técnica do aplicativo destacou pontos importantes para aprimoramento. A maioria dos alunos considerou a instalação simples e a interface funcional, mas houve relatos de problemas técnicos na estabilidade do software, conforme a Figura 4.15. Como nessa turma não se conseguiu acompanhar todos os dias de aplicação do app devido à forma como o docente optou por apresentá-lo à turma, existe a possibilidade de que alguns dos problemas técnicos pudessem ter sido resolvidos durante a aplicação. Além disso, não há certeza se o manual de uso desenvolvido para auxiliar os utilizadores do aplicativo foi repassado devidamente

aos alunos. Independente desses detalhes, esses aspectos reforçam a necessidade de melhorias frequentes para garantir uma experiência mais fluida e satisfatória.

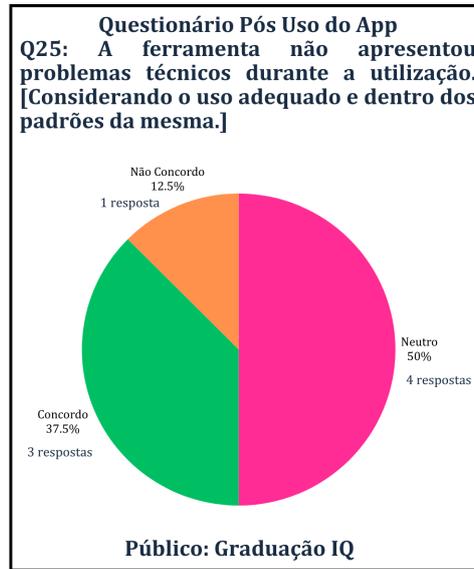


Figura 4.15: Respostas da Questão 25 do Formulário Pós Uso do App.

Essas análises mostram que o *IsomeriaApp* cumpriu seu papel de complementar a aprendizagem de conceitos complexos, mas destacam oportunidades para aprimorar tanto a tecnologia quanto as abordagens pedagógicas associadas.

A Tabela 4.2 apresenta as observações gerais pré uso e pós uso do aplicativo, a partir da análise das respostas ao formulário aplicado relativo ao *IsomeriaApp*, de forma resumida nas categorias:

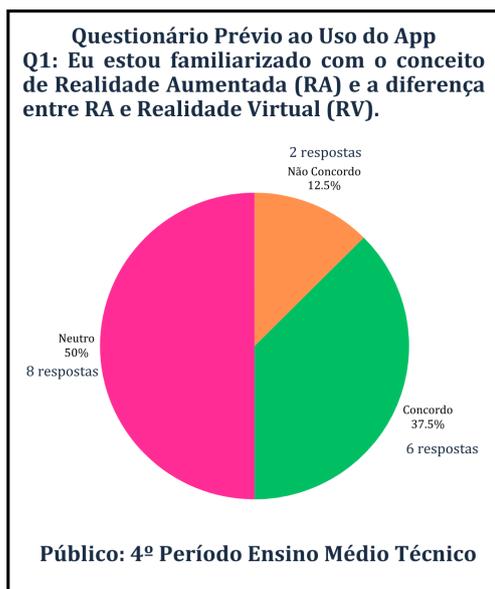
- i.* Familiaridade com RA
- ii.* Engajamento
- iii.* Compreensão de Isomeria
- iv.* Facilidade do uso do App
- v.* Interesse em aplicações de RA

Tabela 4.2: Resumo da Análise das Respostas - IQ UFRJ 2024.2

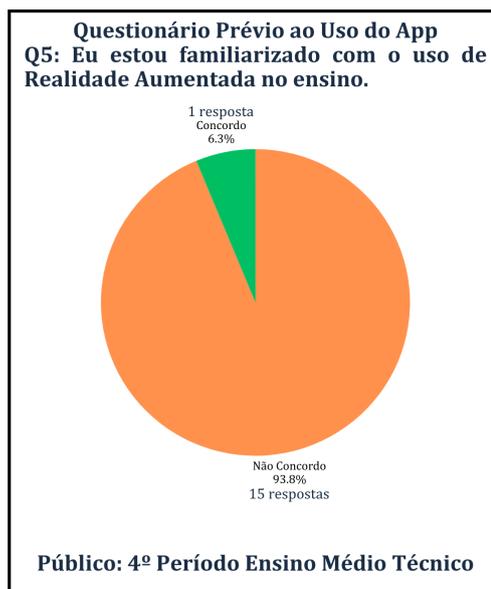
<b>Categoria</b>	<b>Pré-Uso</b>	<b>Pós-Uso</b>
Familiaridade com RA	Conceito conhecido, mas sem experiência prática da aplicação da RA como ferramenta de ensino.	Melhora na compreensão, mas lacunas na aplicação prática persistem.
Engajamento	Alta expectativa quanto ao aumento de engajamento.	Resultados mistos: impacto positivo para alguns, limitado para outros.
Compreensão de Isomeria	Conhecimento teórico prévio sobre isomeria estrutural e espacial.	Visualização tridimensional eficaz para auxílio no entendimento dos conceitos complexos de isomeria.
Facilidade do uso do App	Não avaliado.	Fácil instalação, mas interface e estabilidade técnica precisam de melhorias.
Interesse em aplicações de RA	Interesse elevado em aprender sobre novas aplicações.	Interesse mantido, com motivação para explorar mais usos.

#### 4.2.2.2.2 *Turma do quarto período do Ensino Médio Técnico em Química do Colégio Flama*

Nesta seção apresenta-se a análise dos dados obtidos nos formulários aplicados antes e depois do uso do aplicativo *IsomeriaApp* na turma do 4<sup>o</sup> período do curso de ensino médio técnico em Química. No questionário pré-uso, as respostas sobre a familiaridade teórica com o conceito de RA e com sua diferença em relação à RV foi bem diversificada, conforme apresentado na Figura 4.16a. E, assim como observado em outros grupos, a experiência prática com essa tecnologia foi relatada apenas por um dentre os dezesseis alunos, conforme apresentado na Figura 4.16b .



(a) Questão 1.



(b) Questão 5.

Figura 4.16: Respostas das Questões 1 e 5 do Formulário Prévio.

Apesar de, em sua maioria, os alunos não apresentarem uma noção clara da diferença entre os conceitos de RA e RV, praticamente todos acreditavam no potencial da tecnologia em ser uma ferramenta eficaz de ensino auxiliando na compreensão de conceitos complexos e no engajamento dos alunos em sala de aula, conforme a Figura 4.17. Após o uso do aplicativo, verificou-se uma melhora significativa na compreensão geral sobre RA, embora algumas lacunas na aplicação prática ainda tenham sido pouco apontadas, conforme apresentado na Figura 4.18.

No que diz respeito ao engajamento, os alunos expressaram expectativas altas quanto à capacidade do aplicativo de tornar as aulas mais dinâmicas e envolventes (Figura 4.17). Após a utilização do software, houve uma percepção positiva entre a maioria dos participantes, enquanto outros indicaram uma experiência neutra, evidenciando variações individuais na interação com a ferramenta, reforçando a individualidade de cada aluno a importância de estratégias da parte dos docentes para maximizar a participação e o interesse dos alunos, a partir do conhecimento que o docente tem sobre sua turma. Sobre a compreensão dos conceitos de isomeria estrutural e espacial, os dados iniciais mostraram que os alunos possuíam baixo conhecimento prévio teórico, mas apresentavam, em sua maioria, a esperança de que a ferramenta proporcionasse uma visualização tridimensional mais clara. Após o uso do aplicativo, os alunos relataram que a RA cumpriu esse papel, destacando melhorias na distinção entre diferentes tipos de isomeria, como cis/trans e R/S, que era a maior defasagem no conhecimento prévio. Além disso, 100 % dos alunos concordaram que a visualização das moléculas tridimensionais no aplicativo facilitou a compreensão dos diferentes tipos de isomeria.

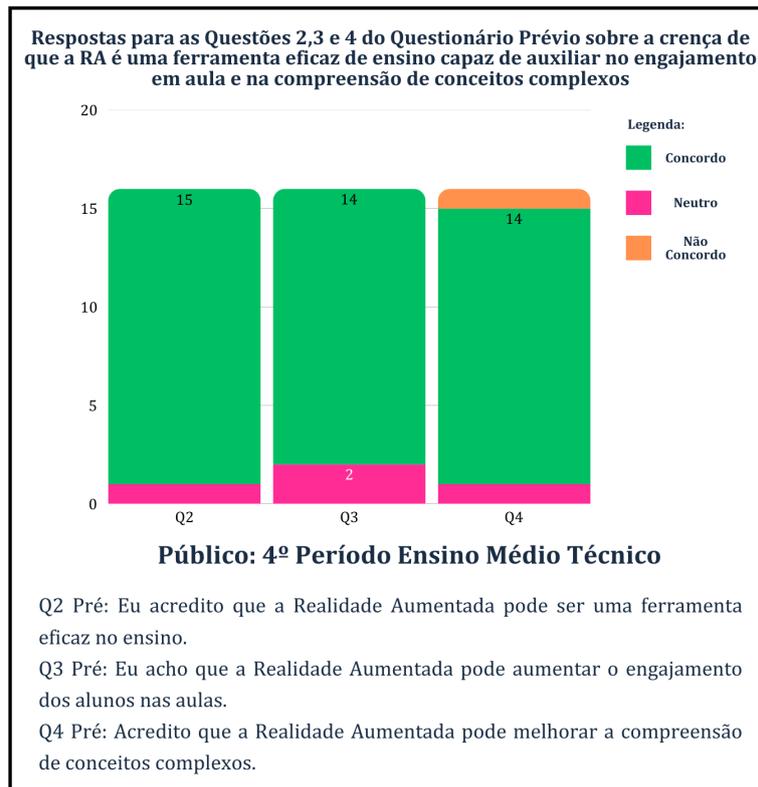


Figura 4.17: Respostas das Questões 2 a 4 do Formulário Prévio.

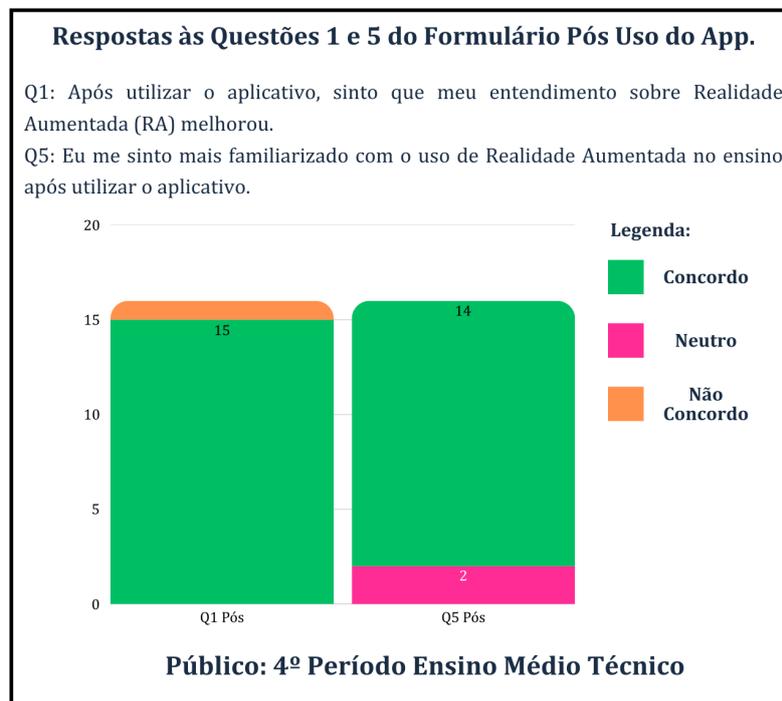


Figura 4.18: Respostas das Questões 1 e 5 do Formulário Pós Uso do App.

O interesse em explorar mais aplicações de RA no ensino de ciências foi elevado desde o início, e se manteve após o uso do aplicativo. Os alunos demonstraram moti-

vação para investigar novas possibilidades, consolidando a RA como uma ferramenta educacional relevante e promissora.

Em relação à avaliação técnica do aplicativo, a maioria dos alunos considerou o processo de instalação simples e a interface fácil de usar. No entanto, o percentual de alunos com aparelhos de sistema operacional iOS foi alto, gerando respostas "Não Concordo" para a facilidade de instalação.

A Tabela 4.3 dispõe as observações gerais pré uso e pós uso do aplicativo, a partir da análise das respostas ao formulário aplicado relativo ao *IsomeriaApp*, de forma resumida nas mesmas categorias do que a Tabela 4.2.

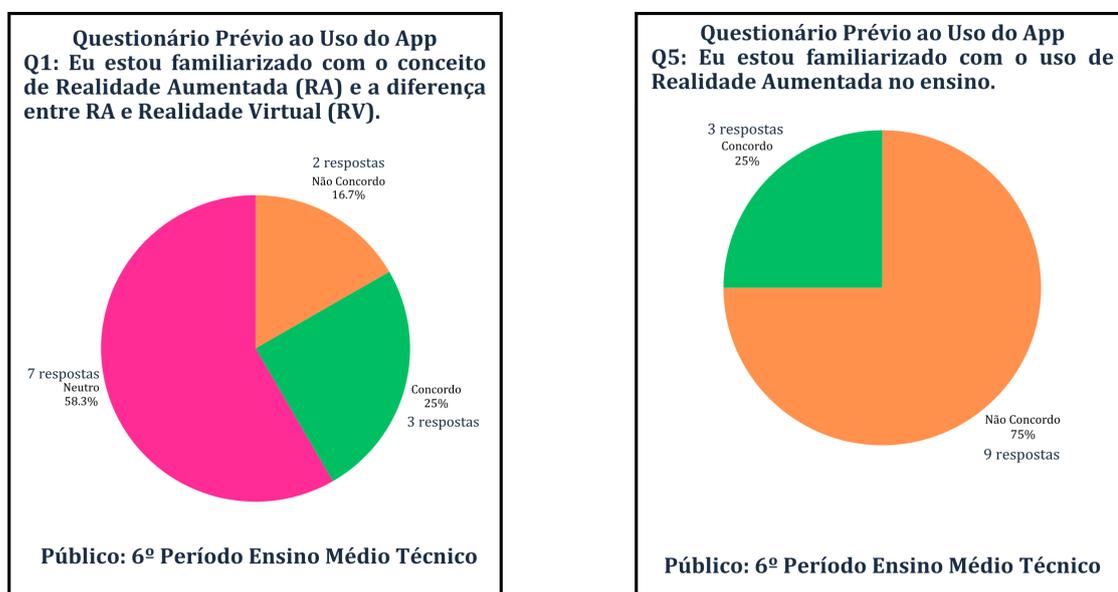
Tabela 4.3: Resumo da Análise das Respostas - 4<sup>o</sup> Período Ensino Médio Técnico em Química do Colégio Flama

<b>Categoria</b>	<b>Pré-Uso</b>	<b>Pós-Uso</b>
Familiaridade com RA	Dificuldade na diferenciação dos conceitos de RA e RV e experiência prática praticamente inexistente.	Melhora na familiaridade da diferença entre RA e RV e no uso da RA como ferramenta de ensino.
Engajamento	Alta expectativa quanto ao aumento de engajamento durante a aula.	Quase 100 % dos alunos acreditou que o aplicativo melhorou a dinâmica e o engajamento em aula.
Compreensão de Isomeria	Baixo conhecimento teórico prévio sobre isomeria estrutural e espacial.	Visualização tridimensional eficaz para auxílio na compreensão dos conceitos complexos.
Facilidade do uso do App	Não avaliado.	Fácil instalação, mas com a existência de alguns problemas técnicos durante a utilização do software.
Interesse em aplicações de RA	Interesse elevado em aprender sobre novas aplicações.	Interesse mantido, com motivação para explorar mais usos.

4.2.2.2.3 *Turma do sexto período do Ensino Médio Técnico em Química do Colégio Flama*

Nesta seção apresenta-se a análise dos dados obtidos nos formulários aplicados antes e depois do uso do aplicativo *IsomeriaApp* na turma do 6º período do curso de ensino médio técnico em Química.

No questionário pré-uso, os alunos relataram possuir pouca familiaridade teórica com o conceito de RA e sua diferença em relação à RV, e uma falta de experiência prática com essa tecnologia. Dentre os doze alunos avaliados apenas três tinham conhecimento prévio sobre a aplicação da RA como ferramenta de ensino (Figura 4.19b) e apenas três estavam familiarizados com a diferença entre RA e RV (Figura 4.19a). Após o uso do aplicativo, a maioria dos participantes indicou melhora na compreensão sobre RA, embora alguns ainda apontassem dificuldade em se familiarizarem com os conceitos, possivelmente devido ao pouco tempo de aplicação da ferramenta em sala de aula.



(a) Respostas da Questão 1.

(b) Respostas da Questão 5.

Figura 4.19: Respostas das Questões 1 e 5 do Formulário Prévio.

Em relação ao engajamento, as expectativas pré-uso foram altas quanto à capacidade do aplicativo de tornar as aulas mais dinâmicas e envolventes. Após o uso, a percepção geral foi positiva, com relatos indicando maior interesse e dinamismo nas atividades propostas.

Quanto à compreensão dos conceitos de isomeria estrutural e espacial, grande parte dos alunos demonstrou neutralidade em relação ao conhecimento prévio sobre o tema (Figura 4.20) e esperou que a RA proporcionasse uma visualização mais clara e prática (Figura 4.21).

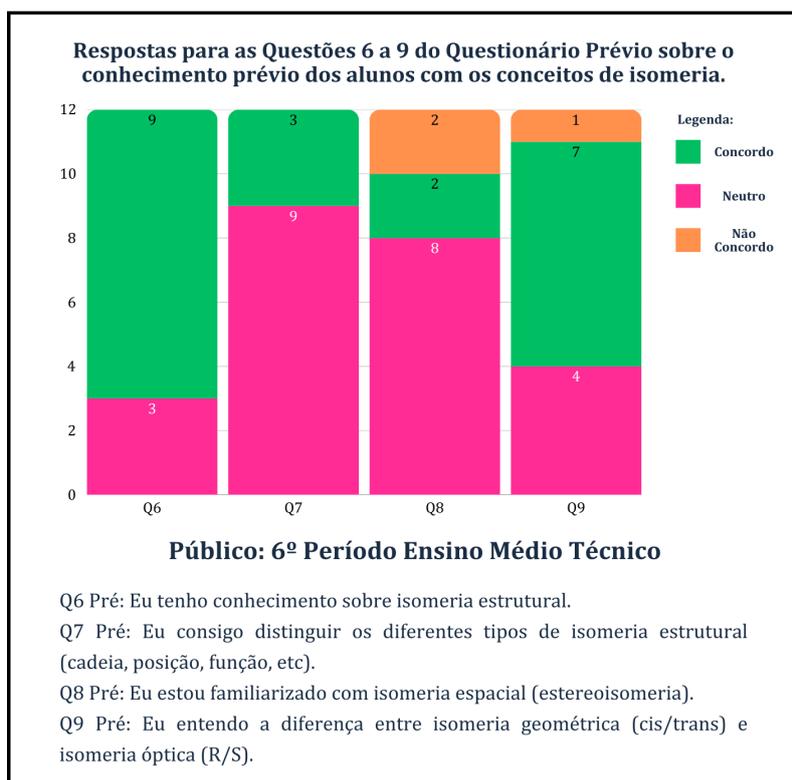


Figura 4.20: Respostas das Questões 6 a 9 do Formulário Prévio.

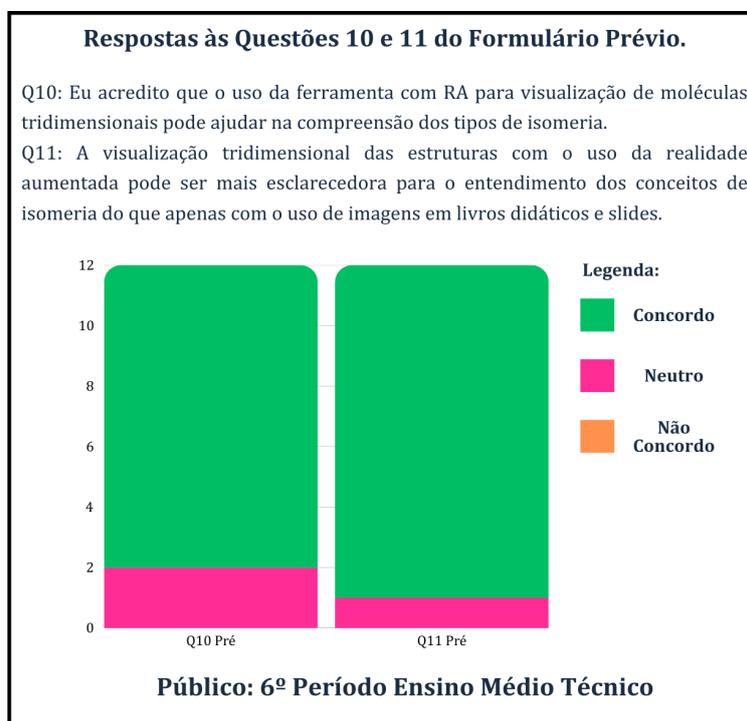


Figura 4.21: Respostas das Questões 10 e 11 do Formulário Prévio.

Após a utilização do aplicativo, a maioria relatou que a ferramenta cumpriu o papel de tornar a visualização mais clara e de melhorar o entendimento dos conceitos

de isomeria, porém não houve uma grande melhora na compreensão dos conceitos de isomeria, uma vez que grande parte dos alunos permaneceu neutro. Isso pode ser devido ao nível de interesse da turma com a disciplina ou até ao pouco tempo de aplicação do software em sala de aula, o que poderia ter sido melhor investigado se houvesse um maior tempo para utilização do aplicativo em aula.

O interesse em explorar mais aplicações de RA no ensino permaneceu elevado após a experiência com o aplicativo e os alunos demonstraram entusiasmo em expandir o uso da tecnologia em diferentes contextos educacionais.

Na avaliação técnica, o aplicativo foi considerado fácil de instalar e de fácil usabilidade, com uma interface intuitiva. Contudo, existem respostas neutras quanto ao bom funcionamento do software durante o período de uso, indicando possibilidade de melhoria do aplicativo.

Esses resultados indicam que o *IsomeriaApp* cumpre o papel de servir como ferramenta complementar ao ensino de conceitos complexos, ao mesmo tempo que revela oportunidades para aprimoramento da tecnologia.

Na Tabela 4.4 encontra-se as observações gerais pré uso e pós uso do aplicativo, a partir da análise das respostas ao formulário aplicado relativo ao *IsomeriaApp*, de forma resumida.

Tabela 4.4: Resumo da Análise das Respostas - 6<sup>o</sup> Período Ensino Médio Técnico em Química do Colégio Flama

<b>Categoria</b>	<b>Pré-Uso</b>	<b>Pós-Uso</b>
Familiaridade com RA	Pouca familiaridade entre a diferença dos conceitos de RA e RV e pouca experiência prática.	Melhora considerável na compreensão e familiaridade com a RA.
Engajamento	Alta expectativa quanto ao aumento de engajamento.	Percepção positiva do uso do aplicativo em sala de aula.
Compreensão de Isomeria	Grande neutralidade no conhecimento teórico prévio sobre isomeria estrutural e espacial.	Visualização tridimensional eficaz, mas mantendo a neutralidade na compreensão dos conceitos.
Facilidade do uso do App	Não avaliado.	Fácil instalação com uma interface intuitiva, mas com alguns problemas técnicos durante a utilização .
Interesse em aplicações de RA	Interesse elevado em aprender sobre novas aplicações.	Interesse mantido, com entusiasmo em explorar novos usos.

#### 4.2.2.2.4 *Visão Geral do IsomeriaApp*

A Tabela 4.5 mostra as observações gerais pré uso e pós uso do aplicativo, a partir da análise das respostas ao formulário aplicado relativo ao *IsomeriaApp*, unindo as três turmas na qual o aplicativo foi apresentado.

Tabela 4.5: Resumo da Análise das Respostas ao Aplicativo *IsomeriaApp*

<b>Aplicativo <i>IsomeriaApp</i> - Resumo Geral</b>			
<b>Categoria</b>	<b>Graduação</b>	<b>4º Período Ensino Médio Técnico</b>	<b>6º Período Ensino Médio Técnico</b>
<b>Familiaridade com RA</b>	Alguns conhecem o conceito de RA, mas sem experiência prática.	Dificuldade prévia na diferenciação dos conceitos de RA e RV e com experiência com RA no ensino praticamente inexistente.	Pouca familiaridade com o conceito de RA e pouca experiência prática, mas com melhora considerável pós uso do app.
<b>Engajamento</b>	Impacto misto sobre o engajamento pós uso do aplicativo.	Alta expectativa com impacto positivo após o uso do aplicativo.	Percepção positiva do uso do aplicativo em sala de aula.
<b>Compreensão de Isomeria</b>	Conhecimento prévio existente mas com apontamento da eficácia da visualização tridimensional para melhora na compreensão.	Baixo conhecimento prévio com apontamento da eficácia da visualização tridimensional para melhora na compreensão.	Grande neutralidade na compreensão dos conceitos de isomeria, mantida após o uso do aplicativo, porém com percepção eficaz do uso da RA para melhora na compreensão dos conceitos.
<b>Facilidade do uso do App</b>	Fácil instalação com alguma instabilidade técnica.	Fácil instalação, mas com a existência de alguns problemas técnicos.	Fácil instalação e interface intuitiva, mas com a existência de alguns problemas técnicos.
<b>Interesse em aplicações de RA</b>	Alto interesse antes e após o uso do aplicativo.		

#### 4.2.2.3 *Sugestões de Melhorias Específicas*

As sugestões de melhorias específicas ao *IsomeriaApp* das três turmas nas quais o aplicativo foi introduzido encontram-se abaixo.

- Desenvolvimento de uma versão web e implementação para dispositivos com

sistema operacional iOS.

- Implementação de novos exemplos, com cadeias mais complexas.
- Verificação do porquê, em alguns aparelhos móveis, ao utilizar a visualização com os dois isômeros ao mesmo tempo, as estruturas se afastam "saindo" da tela de interface do usuário.
- Permitir a rotação de forma individual das estruturas na visualização concomitante dos dois isômeros.

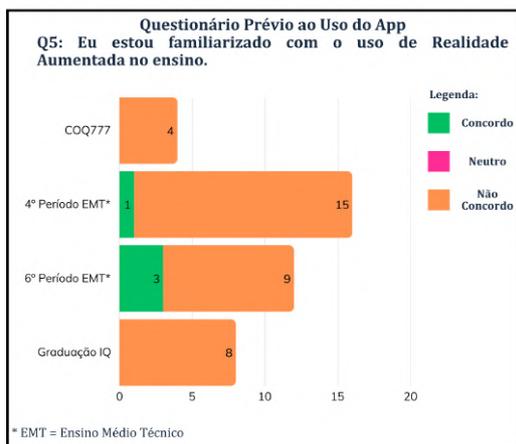
## 4.3 Análise Descritiva dos Resultados Gerais

Esta seção tem por objetivo realizar uma análise descritiva e comparativa dos resultados de uma forma geral, avaliando o impacto da RA como uma ferramenta auxiliadora aplicada no ensino, sem separar por aplicativo desenvolvido. Desse modo busca-se entender o impacto da tecnologia da RA como um todo, considerando as diferentes faixas etárias e de instrução que foram trabalhadas e os diferentes contextos de ensino.

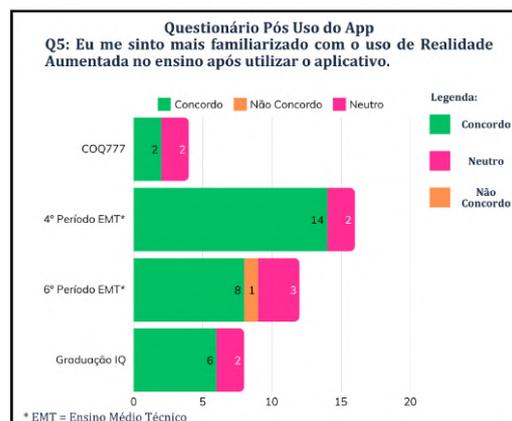
### 4.3.1 Comparação entre Turmas e Níveis de Ensino

A Figura 4.22a apresenta um compilado das respostas à questão 5 do questionário prévio ao uso do app onde dividia-se o público entre aqueles que já possuíam um conhecimento prévio da aplicação da RA como ferramenta de ensino e aqueles que não possuíam esse conhecimento prévio. A Figura 4.22b é o contraponto, no formulário pós uso do app, à questão 5 do formulário prévio para analisar o impacto do software desenvolvido na familiaridade com a aplicação da RA como ferramenta no âmbito do ensino.

A Figura 4.23 traz a mesma comparação feita na Figura 4.22 porém para a questão 1 de ambos os formulários. Essa questão é relativa ao grau de conhecimento prévio que os usuários do app apresentam em relação à diferenciação existente entre RA e RV, e ao grau de melhora no conhecimento dessa diferença após a exposição aos aplicativos.

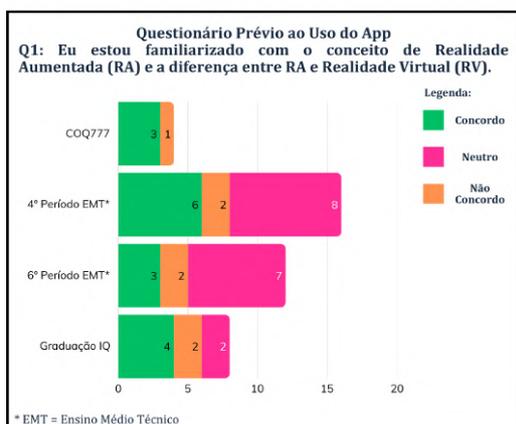


(a) Formulário de conhecimento prévio

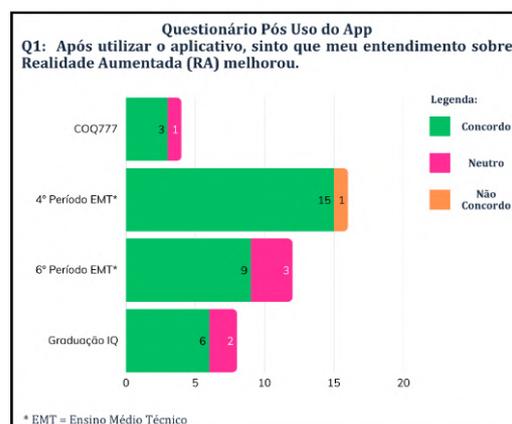


(b) Formulário pós uso do app

Figura 4.22: Compilado das respostas às questões 5 dos formulários



(a) Formulário de conhecimento prévio



(b) Formulário pós uso do app

Figura 4.23: Compilado das respostas às questões 1 dos formulários

A partir da análise dos gráficos pode-se perceber que, no questionário prévio, a maioria dos participantes demonstrou pouca familiaridade com essa tecnologia. Pode-se perceber que as únicas turmas em que houve alguma resposta positiva à familiaridade prévia de ferramentas que utilizassem RA no ensino foram as turmas de ensino médio técnico (EMT), mesmo que ainda em baixo quantitativo. Essa tendência sugere que quanto menor a faixa etária dos alunos submetidos a essas avaliações, maior a chance deles já terem contato prévio com essas tecnologias emergentes, como a RA.

Após o uso do aplicativo, apesar de haver um espaço amostral reduzido neste trabalho, a tendência observada é de melhora na familiaridade dos usuários, uma vez que a maioria das respostas passa a ser positiva, demonstrando que os aplicativos alcançaram o objetivo de difundir a possibilidade do uso da RA como ferramenta de

ensino. Após o uso em sala, a maioria dos participantes se declara mais familiarizada com o uso da RA como ferramenta de ensino. Esse aumento é mais notoriamente observado na turma do quarto período do ensino médio técnico, com um aumento de 81 % nas respostas positivas. Nas demais turmas o crescimento também é bem evidenciado. Pode-se considerar também que existiram alunos que, por possuírem sistemas operacionais diferentes do *Android*, não tiveram acesso pleno ao aplicativo, o que poder ter influenciado suas respostas.

Além disso, percebe-se que o grau de conhecimento sobre o conceito de RA e suas diferenças em relação à RV também foram beneficiados pela utilização dos aplicativos desenvolvidos. Observa-se que, ao contrário do uso da RA e do conhecimento de suas aplicações no ensino, o nível de familiaridade geral com tecnologias é maior entre as turmas de faixa etária mais avançada. Isso sugere que alunos mais maduros tendem a buscar informações sobre uma variedade maior de temas em comparação aos adolescentes, que geralmente focam em interesses específicos.

Uma possível explicação para o maior relato de contato com a tecnologia entre as turmas mais jovens é a dificuldade em diferenciar RA de RV. Essa confusão pode levar à inclusão de experiências com RV na contabilização, resultando em uma superestimação do uso da RA.

De forma geral, porém, a comparação entre os gráficos dos questionários prévios e os questionários pós uso da ferramenta revela que o aplicativo cumpriu os objetivos de aumentar a familiaridade dos participantes com o uso de RA no ensino e com a diferenciação dos conceitos de RA e RV.

Em relação aos apontamentos sobre o design dos softwares desenvolvidos percebe-se que houve um número pequeno de respostas negativas, porém um número considerável de respostas neutras. Essas respostas estão explicitadas na Figura 4.24, que mostra as respostas das questões 19 a 22 do formulário pós uso do app para o aplicativo *ZeoliteApp* e das questões 22 a 25 do formulário para o aplicativo *IsomeriaApp*. O objetivo dessas questões era a obtenção de apenas respostas positivas, porém algumas observações podem fornecer justificativas para os resultados obtidos. Esses resultados ressaltam a importância de sempre considerar o feedback dos usuários como base para ajustes e melhorias contínuas no desenvolvimento do software.

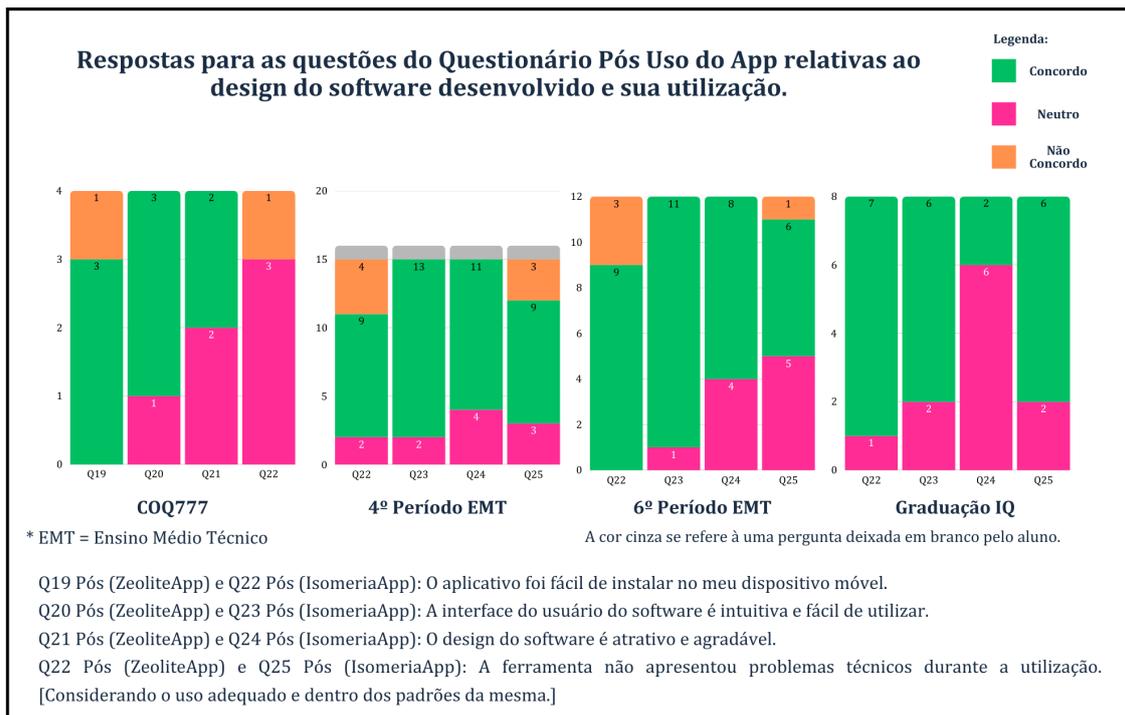


Figura 4.24: Respostas das Questões Relativas ao Design dos Softwares.

Uma primeira observação que pode ser feita sobre esses dados é sobre as últimas questões (22 para o *ZeoliteApp* e 25 para o *IsomeriaApp*), que são relativas ao funcionamento do software durante a utilização pelos usuários. Pode-se presumir que a única resposta Não Concordo, obtida para a turma COQ777 é relativa ao aluno que não possuía o OS necessário para utilização do aplicativo. Além disso, duas das respostas Neutras foram sanadas após o desenvolvimento da segunda versão do aplicativo conforme mencionado na Seção 4.2.1. De modo geral, como não houve um acompanhamento durante todas as aulas em que houve a aplicação dos softwares não há garantia que os problemas de funcionamento apresentados não foram devido ao uso indevido ou à não leitura do guia do usuário.

Outro ponto que poderia ter sido assumido como "defeito" de funcionamento é o fato da estrutura projetada permanecer fixa na primeira posição projetada. Essa questão será detalhada na Seção 4.3.3. Essa limitação foi explicada aos docentes antes de eles apresentarem os aplicativos para as turmas, porém não se sabe se essa informação foi transmitida aos alunos de uma forma adequada.

Grande parte das respostas neutras às questões de desempenho do software e do design do aplicativos pode ser associadas aos alunos que não tiveram acesso pessoal aos aplicativos devido ao OS utilizado. Os dados concordam com a média mencionada pelos docentes, nas conversas após aplicação dos softwares, de alunos que não possuíam *Android*, principalmente para as turmas do ensino médio técnico.

As perguntas 24 do *IsomeriaApp* e 21 do *ZeoliteApp* se referem à agradabilidade e atração da interface dos aplicativos. Dessa forma, são perguntas de cunho bastante

peçoal. Por ser uma ferramenta educacional busca-se manter um design leve sem grandes chamarizes, o que pode ter quebrado a expectativa de alguns usuários. Essa percepção indica que a usabilidade e a navegação dentro dos aplicativos podem ser refinadas para garantir uma experiência mais intuitiva. Além disso, recursos visuais interativos e personalizáveis podem ser explorados para tornar o aplicativo ainda mais dinâmico e adaptável às preferências dos usuários.

Na questão sobre a facilidade de instalação, a maioria dos participantes demonstrou concordância, especialmente nas turmas do 6<sup>o</sup> período do Ensino Médio Técnico e da Graduação. No entanto, pequenos índices de respostas neutras e negativas foram registrados, sugerindo a necessidade de melhorias no processo de instalação. Melhorias na compatibilidade com diferentes dispositivos e sistemas operacionais podem aumentar a acessibilidade e reduzir eventuais dificuldades técnicas enfrentadas por alguns usuários.

Essas análises destacam que, embora os aplicativos analisados tenham sido bem recebidos em diversos aspectos, eles também apresentam oportunidades claras para aprimoramento. As respostas negativas e neutras fornecem informações valiosas para guiar o desenvolvimento futuro, focando na simplificação da instalação, melhoria da interface, modernização do design e fortalecimento da estabilidade técnica. Com esses ajustes, os aplicativos têm potencial para oferecer experiências de aprendizado ainda mais eficazes e envolventes. Além disso, a aplicação de RA no ensino demonstrou benefícios, principalmente no aumento da compreensão de conceitos complexos e no interesse em explorar tecnologias educacionais. No entanto, o impacto varia conforme o nível educacional e a experiência prévia dos participantes, destacando a importância de ajustar o design e a aplicação dos softwares desenvolvidos (apps) para atender às expectativas e limitações de cada público.

### **4.3.2 Implicações do Uso da Realidade Aumentada no Ensino**

Os resultados das avaliações realizadas por meio de formulários pré e pós-uso evidenciam que a RA pode desempenhar um papel importante na melhoria do entendimento e na motivação dos estudantes. Em todas as turmas, os participantes relataram maior facilidade para compreender conceitos abstratos, como as interações entre moléculas e os aspectos geométricos das estruturas tridimensionais. Considerando o grupo total de usuários que responderam os formulários, dos 40 alunos, 36 concordavam que a RA poderia melhorar a compreensão de conceitos complexos, representando um total de 90 %. Isso demonstra a efetividade associada a RA como ferramenta educacional. Além disso, 36 alunos afirmaram que o uso da RA no aplicativo os ajudou a melhorar a compreensão sobre os conceitos de zeólitas ou isomeria, a depender de qual aplicativo estivesse sendo utilizado. 34 alunos afirma-

ram que a visualização tridimensional foi mais esclarecedora do que a utilização de imagens estáticas e 90 % concordou que a ferramenta foi um método eficaz para complementação das explicações dadas pelos professores em aula.

Além dos ganhos em termos de aprendizado, os resultados também apontam para um aumento no engajamento dos alunos ao utilizar o aplicativo. Antes do uso da ferramenta, 88 % dos participantes acreditavam que a interação com as estruturas tridimensionais poderia ser mais envolvente do que simplesmente assistir a vídeos explicativos, enquanto após a experiência prática, esse percentual subiu para 93 %, reforçando o papel da RA como um estímulo para a participação ativa no processo de aprendizagem. De forma semelhante, 37 dos 40 alunos acreditavam que a RA poderia tornar as aulas mais dinâmicas e envolventes, indicando que a tecnologia de fato contribui para a criação de um ambiente de aprendizado mais interativo.

Os dados também revelam que a RA pode desempenhar um papel importante na motivação dos estudantes para explorar novos conteúdos. 83 % dos participantes acreditavam que a RA poderia aumentar o interesse por temas científicos e a quantidade de alunos interessados em aprender mais sobre outras aplicações da RA no ensino de ciências era equivalente a 88 %, o que sugere que a ferramenta obteve sucesso em despertar um interesse pela tecnologia e sua aplicabilidade educacional.

Outro ponto relevante está relacionado à familiaridade dos alunos com a RA no contexto educacional. No início da avaliação, 10 %, ou seja, apenas quatro alunos afirmavam que já haviam utilizado RA para fins educacionais, enquanto após a experiência, 75 % dos alunos se declararam mais familiarizados com a tecnologia. Adicionalmente, 83 % relataram que a utilização do aplicativo ajudou a superar a falta de conhecimento prévio sobre a RA, o que destaca o potencial da ferramenta para democratizar o acesso a novas metodologias de ensino.

Portanto, o uso da RA no ensino se mostrou uma estratégia eficaz não apenas para abordar conteúdos complexos, mas também para aumentar o engajamento dos alunos e contribuir para a construção de uma experiência educacional mais interativa e moderna. Esses resultados reforçam a importância de investir em soluções tecnológicas no contexto educacional, tanto no ensino superior quanto na educação básica e técnica, com o objetivo de promover a inclusão digital e a formação de profissionais mais preparados para os desafios contemporâneos.

### **4.3.3 Sugestões de Melhorias Gerais**

A fim de aperfeiçoar a aplicação da tecnologia de RA como ferramentas de ensino existem algumas melhorias que podem, e estão em vias de, ser implementadas nos softwares desenvolvidos. Alguns desses pontos foram mencionados pelos usuários dos aplicativos, e outros pontos foram sendo percebidos ainda durante o desenvolvi-

mento, mas por motivos diversos não tiveram como ser sanados durante o período de desenvolvimento e implementação.

- Implementação de temas mais complexos para aplicação em outras disciplinas.
- Manutenção do design da interface do usuário independentemente do tamanho da tela do aparelho móvel.
- Permitir a troca do ponto de fixação da estrutura projetada junto com a movimentação do aparelho.

O terceiro ponto foi um amplo ponto de debate durante o desenvolvimento dos softwares. A figura que será posteriormente projetada fica fixa na posição para onde a câmera do dispositivo móvel estava apontando ao iniciar o aplicativo. Então, ao mover o dispositivo o usuário acaba por perder a estrutura. Essa limitação tentou ser sanada ao longo do desenvolvimento dos softwares, porém parece ser uma limitação da própria plataforma da Unity.

## 4.4 Análise Crítica das Limitações do Estudo e das Tecnologias Utilizadas

Embora os softwares de RA desenvolvidas tenham demonstrado um impacto positivo no ensino de conceitos relacionados a zeólitas e estereoquímica, algumas limitações no estudo e nas tecnologias empregadas merecem uma análise crítica.

Em primeiro lugar, a dependência de dispositivos móveis com os requisitos operacionais mínimos necessários para a utilização da tecnologia de RA presente nos aplicativos e com o OS para o qual os aplicativos foram desenvolvidos pode restringir o acesso de alguns estudantes, particularmente aqueles que não dispõem de aparelhos mais recentes e modernos. Além disso, embora a tecnologia de RA utilizada seja avançada, ela ainda apresenta limitações em termos de qualidade gráfica em dispositivos de menor desempenho, o que pode comprometer a experiência do usuário e prejudicar a clareza das representações 3D das estruturas moleculares.

Outra limitação do estudo refere-se ao quantitativo da amostra de alunos testados. A aplicação das ferramentas de RA em diferentes perfis de alunos, como aqueles de níveis de ensino diferentes e com idades variadas, foi de extremamente importante para demonstrar que a RA se aplica ao ensino em um espectro geral e não apenas a um determinado nível. Porém, o baixo quantitativo dificultou as análises feitas, e uma amostragem maior poderia oferecer uma visão mais ampla e uma avaliação mais robusta dos efeitos de longo prazo dessa abordagem pedagógica. Todavia, esse aumento amostral não é factível dentro do escopo de tempo de um projeto de

mestrado; assim, é importante que turmas em anos vindouros sejam submetidas ao software para que uma análise estatística mais robusta seja possível.

Uma das principais limitações deste estudo foi o tempo reduzido disponível para a aplicação dos apps de RA nas turmas. O curto período de utilização dificultou uma interação mais aprofundada dos estudantes com os softwares, o que pode ter limitado o potencial de adaptação ao ambiente digital e a exploração plena das funcionalidades dos aplicativos. Essa limitação temporal também restringiu a oportunidade de identificar dificuldades específicas enfrentadas pelos alunos ao interagir com as ferramentas, bem como de promover ajustes ou fornecer suporte adicional durante as sessões.

Outro ponto que merece atenção foi a ausência de um acompanhamento mais próximo durante as aplicações em aula, o que limitou a possibilidade de uma análise detalhada sobre o papel dos docentes no processo. Como os aplicativos desenvolvidos utilizam uma tecnologia relativamente nova no ensino, a falta de acompanhamento não permitiu a observação de forma aprofundada da maneira como os professores orientaram os estudantes no uso das ferramentas e como apresentaram o guia do usuário. Essa ausência de monitoramento impossibilitou uma avaliação mais completa do suporte necessário durante o uso das ferramentas. Um acompanhamento mais próximo poderia ter trazido *insights* valiosos sobre a interação entre professores, alunos e a tecnologia, além de ajudar a identificar oportunidades para aprimorar a utilização dos softwares em sala de aula.

As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento dos aplicativos, como a Unity e o SDK do *ARCore*, são amplamente reconhecidas por sua eficiência, mas também apresentam desafios técnicos. A integração de modelos moleculares em 3D exigiu ajustes constantes para garantir a precisão e fidelidade das representações, o que nem sempre foi simples, especialmente ao lidar com estruturas complexas de zeólitas e estereoquímica. Além disso, a utilização de softwares externos para a conversão das extensões dos modelos moleculares gerados no *ChemSketch*, como o *Blender*, para o formato compatível com a Unity foi uma etapa delicada, que exigiu rigoroso controle para evitar erros de visualização e interação. Esses desafios técnicos ressaltam a necessidade de aprimorar as ferramentas de desenvolvimento, tornando o processo mais fluido e minimizando a margem de erro.

Por fim, embora a simplicidade e a interação básica de rotação e zoom tenham sido características valiosas, uma gama mais ampla de interações poderia ter enriquecido a experiência de aprendizado. Por exemplo, a adição de recursos como questionários interativos ou simulações de reações químicas poderia ter aprofundado o envolvimento dos estudantes com os conteúdos abordados. A ausência dessas funcionalidades pode ser vista como uma limitação que tem o potencial de aprimorar ainda mais a eficácia educacional das ferramentas desenvolvidas.

# Capítulo 5

## Conclusões

O presente estudo visou explorar o potencial da realidade aumentada (RA) como uma ferramenta pedagógica complementar para o ensino de conceitos complexos nas áreas de química e engenharia, com foco específico em temas como zeólitas e estereoquímica. A partir do desenvolvimento de dois aplicativos de RA, uma voltada para a visualização e interação com estruturas de zeólitas e outra para a aprendizagem de estereoquímica e isomeria, buscou-se proporcionar aos estudantes uma experiência de aprendizado mais intuitiva, interativa e envolvente. Os resultados obtidos com os testes realizados em turmas de graduação e ensino técnico confirmaram a eficácia da RA como uma ferramenta capaz de aumentar o engajamento e a compreensão dos alunos sobre esses temas, melhorando a retenção de informações e promovendo uma aprendizagem mais visual e interativa.

As análises qualitativas e quantitativas realizadas, com a aplicação de formulários de avaliação antes e depois da utilização dos softwares, indicaram que os estudantes, de maneira geral, demonstraram um aumento no entendimento dos conceitos abordados. Em particular, o uso das representações 3D das estruturas moleculares e zeolíticas proporcionou uma forma tangível de visualizar conceitos abstratos que, de outra forma, poderiam ser difíceis de compreender por meio de abordagens tradicionais. A possibilidade de interagir com essas estruturas de forma direta, manipulando-as em um ambiente virtual, resultou em uma experiência mais rica e envolvente, o que se refletiu no *feedback* positivo dos alunos.

Entretanto, o estudo também revelou algumas limitações que precisam ser consideradas para o aprimoramento das futuras implementações dessas ferramentas. A dependência de dispositivos móveis para a execução dos aplicativos, somada às limitações gráficas em aparelhos de menor desempenho, foi um fator que restringiu o acesso de todos os alunos ao conteúdo da maneira ideal. Além disso, a amostra de alunos testados foi limitada, o que restringiu a generalização dos resultados para outros contextos educacionais. A falta de uma intervenção mais prolongada também impediu uma avaliação mais detalhada do impacto de longo prazo da RA no processo

de aprendizagem. Essas limitações, no entanto, não comprometem a relevância do estudo, mas indicam áreas importantes para aprimoramento nas versões futuras dos apps.

Em conclusão, este trabalho demonstrou que a RA tem um grande potencial para transformar a maneira como ensinamos e aprendemos conteúdos complexos, especialmente em áreas da Engenharia Química. As ferramentas desenvolvidas proporcionaram uma abordagem inovadora e eficiente para o ensino de conceitos abstratos e difíceis de visualizar, contribuindo para o aumento da motivação e do desempenho dos alunos. A boa recepção dos aplicativos desenvolvidos, aliado ao *feedback* positivo dos alunos, sugere que a RA tem um papel crescente a desempenhar no futuro da educação. Ao continuar a aperfeiçoar as tecnologias e a explorar novas maneiras de integrar a RA no ensino, espera-se um impacto ainda maior no engajamento e na compreensão dos estudantes, promovendo um aprendizado mais interativo.

## 5.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros

Em termos de perspectivas futuras, a integração de funcionalidades mais avançadas, como simulações de reações químicas em tempo real e análises dinâmicas das moléculas, poderia ampliar as possibilidades pedagógicas das ferramentas desenvolvidas possibilitando aos usuários visualizar reações químicas em tempo real ou alterar parâmetros estruturais das moléculas para explorar diferentes cenários. Além disso, seria relevante integrar camadas adicionais de informações, como anotações sobre as propriedades dos compostos ou links para artigos e vídeos educativos, com o intuito de enriquecer o conteúdo e proporcionar um aprendizado mais completo e integrado. Recursos visuais interativos e personalizáveis também podem ser explorados para tornar o aplicativo ainda mais dinâmico e adaptável às preferências dos usuários. Além disso, a expansão do uso de RA para outros tópicos de ensino, como biologia molecular ou física, e sua aplicação em diferentes níveis de escolaridade e em áreas fora das ciências exatas, como as humanidades, pode abrir novos caminhos para o uso desta tecnologia na educação.

Outra área passível de aprimoramento refere-se à acessibilidade e personalização dos aplicativos. Contudo, essas adições ao software precisam ser cuidadosamente realizadas e otimizadas, uma vez que poderiam implicar aumento significativo do armazenamento mínimo requerido e das especificações para uso do aplicativo. Embora o design simplificado tenha sido um aspecto positivo, facilitando o uso em diferentes faixas etárias e níveis de conhecimento, a inclusão de opções de personalização, como a escolha de diferentes modos de visualização (por exemplo, com variações de esquemas de cores ou escalas de exibição), pode atender de maneira mais eficaz às necessidades de uma gama diversificada de usuários, especialmente

aqueles com dificuldades visuais ou com diferentes estilos de aprendizagem.

A avaliação de longo prazo dos impactos da utilização da tecnologia de RA em um grupo de controle de uma sala de aula, incluindo estudos comparativos com métodos de ensino convencionais, será de grande valia para entender de forma mais profunda o impacto da RA na melhoria do aprendizado em diversas disciplinas. A utilização dos aplicativos por um período maior de tempo por parte dos alunos resolveria questões relativas à familiaridade com a ferramenta. Adicionalmente, o *feedback* contínuo dos alunos e professores deve permanecer como um guia fundamental para as futuras atualizações dos aplicativos, assim como a integração de dados analíticos que permitam compreender de forma mais precisa como as interações dos usuários com a tecnologia influenciam seu aprendizado e a percepção do conteúdo, garantindo a evolução das ferramentas.

Por fim, é de extrema importância estudar a viabilidade de implementação dessas ferramentas em diferentes dispositivos e OS, como o iOS, e a adaptação para uso através de navegadores web (sem a necessidade de instalação de aplicativos). Esse avanço permitiria a integração do acesso de mais estudantes, tornando o uso da ferramenta mais difundido, e assim gerando um estudo mais aprofundado do impacto da RA no ensino.

# Referências Bibliográficas

- [1] ERIKSEN, K., NIELSEN, B. E., PITTELKOW, M. “Visualizing 3D Molecular Structures Using an Augmented Reality App”, Journal of Chemical Education, v. 97, pp. 1487–1490, 5 2020. ISSN: 19381328. doi: 10.1021/acs.jchemed.9b01033.
- [2] ANUAR, S., NIZAR, N., ISMAIL, M. A. “The Impact of Using Augmented Reality as Teaching Material on Students’ Motivation”, Asian Journal of Vocational Education and Humanities, v. 2, pp. 1–8, 3 2021. ISSN: 27350215. doi: 10.53797/ajvah.v2i1.1.2021.
- [3] AW, J. K., BOELLAARD, K. C., TAN, T. K., et al. “Interacting with Three-Dimensional Molecular Structures Using an Augmented Reality Mobile App”, Journal of Chemical Education, v. 97, pp. 3877–3881, 10 2020. ISSN: 19381328. doi: 10.1021/acs.jchemed.0c00387.
- [4] BAUER, T., BANZER, P., KARIMI, E., et al. “Observation of optical polarization Möbius strips”, Science, v. 347, pp. 964–966, 2 2015. ISSN: 10959203. doi: 10.1126/science.1260635.
- [5] “Fluxo de Campo Vetorial”, Roteiro de Aula. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/496507176/Roteiro01-Fluxo-Campo-Vetorial#>>. Acessado em 19 de jan. de 2025.
- [6] RABBI, I., ULLAH, S. “A Survey on Augmented Reality Challenges and Tracking”, Acta Graphica, v. 24, pp. 29–46, 2013. ISSN: 0353-4707. Disponível em: <<http://hrcak.srce.hr/file/150828>>.
- [7] MILGRAM, P., KISHINO, F. “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays”. 1994. Disponível em: <[http://vered.rose.utoronto.ca/people/paul\\_dir/IEICE94/ieice.html](http://vered.rose.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html)>.
- [8] AZUMA, R. T. “A Survey of Augmented Reality”, Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, v. 8, pp. 73–272, 2014. ISSN: 15513963. doi: 10.1561/11000000049.

- [9] LUZ, R. A., WAGNER, M., RIBEIRO, S., et al. “Análise de Aplicações de Realidade Aumentada na Educação Profissional: Um Estudo de Caso no SENAI DR/GO”, .
- [10] LEITE, A. S., SANTOS, E., DE SALES JÚNIOR, V. B. “REALIDADE AUMENTADA E O SEU IMPACTO NA EDUCAÇÃO”, Revista Facima Digital Gestão.
- [11] GLASBY, L. T., OKTAVIAN, R., ZHU, K., et al. “Augmented Reality for Enhanced Visualization of MOF Adsorbents”, Journal of Chemical Information and Modeling, v. 63, pp. 5950–5955, 10 2023. ISSN: 1549960X. doi: 10.1021/acs.jcim.3c01190.
- [12] DUNLEAVY, M., DEDE, C. “Augmented reality teaching and learning”. pp. 735–745, Springer New York, 1 2014. ISBN: 9781461431855. doi: 10.1007/978-1-4614-3185-5\_59.
- [13] OVENS, M., ELLYARD, M., HAWKINS, J., et al. “Developing an Augmented Reality Application in an Undergraduate DNA Precipitation Experiment to Link Macroscopic and Submicroscopic Levels of Chemistry”, Journal of Chemical Education, v. 97, pp. 3882–3886, 10 2020. ISSN: 19381328. doi: 10.1021/acs.jchemed.0c00481.
- [14] ROSHANDEL, H., SHAMMAMI, M., LIN, S., et al. “App-Free Method for Visualization of Polymers in 3D and Augmented Reality”, Journal of Chemical Education, v. 100, pp. 2039–2044, 5 2023. ISSN: 19381328. doi: 10.1021/acs.jchemed.2c01131.
- [15] HUNG, Y. H., CHEN, C. H., HUANG, S. W. “Applying augmented reality to enhance learning: a study of different teaching materials”, Journal of Computer Assisted Learning, v. 33, pp. 252–266, 6 2017. ISSN: 13652729. doi: 10.1111/jcal.12173.
- [16] CARDOSO, R. G. S., PEREIRA, S. T., CRUZ, J. H., et al. “USO DA REALIDADE AUMENTADA EM AUXÍLIO À EDUCAÇÃO”. 2014.
- [17] DE AZEVEDO PEDROSA, S. M. P., ZAPPALA-GUIMARÃES, M. A. “Realidade virtual e realidade aumentada: refletindo sobre usos e benefícios na educação”, Educação e Cultura Contemporânea, v. 16, 2019. ISSN: 2238-1279. doi: 10.5935/2238-1279.20190007.
- [18] RIZOV, T., RIZOVA, E. “Augmented Reality as a Teaching Tool in Higher Education”, International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education, v. 3, 2015.

- [19] CUBILLO, J., MARTIN, S., CASTRO, M., et al. A Learning Environment for Augmented Reality Mobile Learning. IEEE, 2014. ISBN: 9781479939220.
- [20] FOMBONA-PASCUAL, A., FOMBONA, J., VICENTE, R. “Augmented Reality, a Review of a Way to Represent and Manipulate 3D Chemical Structures”, Journal of Chemical Information and Modeling, v. 62, pp. 1863–1872, 4 2022. ISSN: 1549960X. doi: 10.1021/acs.jcim.1c01255.
- [21] FERNANDES, F., CASTRO, D., WERNER, C. “Immersive Learning Research from SVR Publications: A Re-conduction of the Systematic Mapping Study”, Journal on Interactive Systems, v. 13, pp. 205–220, 9 2022. doi: 10.5753/jis.2022.2472.
- [22] YECHKALO, Y., TKACHUK, V., HRUNTOVA, T., et al. “Augmented Reality in Training Engineering Students: Teaching Methods”. In: Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge. CEUR Workshop Proceedings, 2019.
- [23] KLETTEMBERG, J. S., TORI, R., HUANCA, C. M. “Perspectivas mundiais sobre a realidade aumentada nos anos iniciais da educação básica”, Revista Brasileira de Informática na Educação, v. 29, pp. 827–845, 8 2021. ISSN: 1414-5685. doi: 10.5753/rbie.2021.29.0.827.
- [24] REZENDE, S. M., GONÇALVES, J. D. B., PINTO, S. C. C. S., et al. “A Realidade Aumentada em Situações de Aprendizagem na Educação Básica: Uma Revisão de Literatura”, .
- [25] ASHBY, W. R. Introdução à Cibernética. São Paulo, Editôra Perspectiva, 1970.
- [26] “What is Augmented Intelligence? -IEEE Digital Reality”. Disponível em: <<https://digitalreality.ieee.org/publications/what-is-augmented-intelligence>>. Acessado em 08 de jan. de 2025.
- [27] AZUMA, R., BAILLOT, Y., BEHRINGER, R., et al. “Recent Advances in Augmented Reality”, IEEE Computer Graphics and Applications, 2001.
- [28] DEMITRIADOU, E., STAVROULIA, K. E., LANITIS, A. “Comparative evaluation of virtual and augmented reality for teaching mathematics in primary education”, Education and Information Technologies, v. 25, pp. 381–401, 1 2020. ISSN: 15737608. doi: 10.1007/s10639-019-09973-5.

- [29] KIRNER, C., KIRNER, T. G. “Evolução e Tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada”. SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2011.
- [30] ABBASI, F., WASEEM, A., ASHRAF, E. “Augmented Reality Based Teaching In Classrooms”. In: International Conference on Communication, Computing and Digital Systems (C-CODE). IEEE, 2017. ISBN: 9781509044481.
- [31] REBELLO, C. M., DEIRÓ, G. F., KNUUTILA, H. K., et al. “Augmented reality for chemical engineering education”, Education for Chemical Engineers, v. 47, pp. 30–44, 4 2024. ISSN: 17497728. doi: 10.1016/j.ece.2024.04.001.
- [32] RODRIGUES, C. S. C., PINTO, R. A. M., RODRIGUES, P. F. N. “Uma Aplicação da Realidade Aumentada no Ensino de Modelagem dos Sistemas Estruturais”, Revista Brasileira de Computação Aplicada, v. 2, pp. 81–95, 2010. doi: 10.5335/rbca.2010.017.
- [33] ALVAREZ-MARIN, A., VELAZQUEZ-ITURBIDE, J. A. “Augmented Reality and Engineering Education: A Systematic Review”. 12 2021. ISSN: 19391382.
- [34] DÍAZ, M. J., ÁLVAREZ GALLEGO, C. J., CARO, I., et al. “Incorporating Augmented Reality Tools into an Educational Pilot Plant of Chemical Engineering”, Education Sciences, v. 13, 1 2023. ISSN: 22277102. doi: 10.3390/educsci13010084.
- [35] TZIMA, S., STYLIARAS, G., BASSOUNAS, A. “Augmented reality applications in education: Teachers point of view”, Education Sciences, v. 9, 6 2019. ISSN: 22277102. doi: 10.3390/educsci9020099.
- [36] SCRIVNER, O., MADEWELL, J., BUCKLEY, C., et al. “Augmented reality digital technologies (ardt) for foreign language teaching and learning”. In: 2016 future technologies conference (FTC), pp. 395–398. IEEE, 2016. ISBN: 9781509041718.
- [37] GUAYA, D., ÁNGEL MENESES, M., JARAMILLO-FIERRO, X., et al. “Augmented Reality: An Emergent Technology for Students’ Learning Motivation for Chemical Engineering Laboratories during the COVID-19 Pandemic”, Sustainability (Switzerland), v. 15, 3 2023. ISSN: 20711050. doi: 10.3390/su15065175.

- [38] CHAVENT, M., BAADEN, M., HÉNON, , et al. “Soon in your lecture halls, chemistry will go to Hollywood. On the appropriate use of computational resources for teaching: Molecular visualization, illustrating chemical processes and physical models; [Bientôt dans votre amphithéâtre, la chimie fera son cinéma ! De la bonne utilisation des ressources informatiques pour l’enseignement: Visualisation moléculaire, illustration de processus chimiques et de modèles physiques]”, Actualite Chimique, , n. 363, pp. 42 – 46, 2012. ISSN: 21052409. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84861306232&partnerID=40&md5=6370875c598872c42097f5c73dd29108>>. Cited by: 2.
- [39] MAIER, P., KLINKER, G. “Evaluation of an augmented-reality-based 3D user interface to enhance the 3D-understanding of molecular chemistry”. In: International Conference on Computer Supported Education, pp. 294–302. SciTePress, 2013. ISBN: 9789898565532. doi: 10.5220/0004349502940302.
- [40] HERNÁNDEZ, D., BOTTFNER, E., CATALDO, F., et al. “Augmented reality application for chemistry laboratories”, Educacion Quimica, v. 32, pp. 30–37, 2021. ISSN: 18708404. doi: 10.22201/FQ.18708404E.2021.3.68129.
- [41] RIPSAM, M., NERDEL, C. “Augmented reality for chemistry education to promote the use of chemical terminology in teacher trainings”, Frontiers in Psychology, v. 13, 11 2022. ISSN: 16641078. doi: 10.3389/fpsyg.2022.1037400.
- [42] LOW, D. Y. S., POH, P. E., TANG, S. Y. “Assessing the impact of augmented reality application on students’ learning motivation in chemical engineering”, Education for Chemical Engineers, v. 39, pp. 31–43, 4 2022. ISSN: 17497728. doi: 10.1016/j.ece.2022.02.004.
- [43] FORTE, C. E., KIRNER, C. “Usando Realidade Aumentada no Desenvolvimento de Ferramenta para Aprendizagem de Física e Matemática”, .
- [44] HAAS, J. K. “A History of the Unity Game Engine”, Worcester Polytechnic Institute, p. 44, 2014. ISSN: 0002-7642. Disponível em: <[https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-030614-143124/unrestricted/Haas\\_IQP\\_Final.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-030614-143124/unrestricted/Haas_IQP_Final.pdf)>.
- [45] BUYUKSALIH, I., BAYBURT, S., BUYUKSALIH, G., et al. “3D MODELLING and VISUALIZATION BASED on the UNITY GAME ENGINE - ADVANTAGES and CHALLENGES”. In: ISPRS Annals of

the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 4, pp. 161–166. Copernicus GmbH, 11 2017. doi: 10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-161-2017.

- [46] BOYRAZ, G., KIRCI, P. “Constructing A 3d Game With Unity 3d Game Engine”, Conference of Open Innovations Association, FRUCT, v. 28, pp. 554–557, 2021.
- [47] TECHNOLOGIES, U. “ARCore Manual (com.unity.xr.arcore@5.1)”. . Disponível em: <<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arcore@5.1/manual/index.html>>. Acessado em 11 de dez. de 2024.
- [48] FIGUEIREDO, H. R. “REALIDADE AUMENTADA COM RASTREAMENTO BASEADO EM RETAS”, 2017.
- [49] MAIER, P., KLINKER, G. “Dynamics in Tangible Chemical Reactions”, Int. J. Chem. Mol. Eng., v. 3, pp. 447–453, 2009.
- [50] TECHNOLOGIES, U. “Unity”. . Disponível em: <<https://unity.com/pt>>. Acessado em 10 de dez. de 2024.
- [51] “O que é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)?” Disponível em: <<https://www.treinaweb.com.br/blog/o-que-e-uma-ide-ambiente-de-desenvolvimento-integrado>>. Acessado em 29 de jan. de 2024.
- [52] TECHNOLOGIES, U. “Unity Manual”. . Disponível em: <<https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>>. Acessado em 11 de dez. de 2024.
- [53] TECHNOLOGIES, U. “Unity Learn”. . Disponível em: <<https://learn.unity.com/>>. Acessado em 10 de dez. de 2024.
- [54] TECHNOLOGIES, U. “Unity Asset Store”. . Disponível em: <<https://assetstore.unity.com/>>. Acessado em 10 de dez. de 2024.
- [55] TECHNOLOGIES, U. “AR Foundation Manual (com.unity.xr.arfoundation@5.1)”. . Disponível em: <<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@5.1/manual/index.html>>. Acessado em 11 de dez. de 2024.
- [56] EDUCATION, I. C. “SDK vs. API: What’s the difference?” Disponível em: <<https://www.ibm.com/think/topics/api-vs-sdk>>. Acessado em 11 de dez. de 2024.

- [57] TECHNOLOGIES, U. “ARKit Manual (com.unity.xr.arkit@4.2)”. . Disponível em: <<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arkit@4.2/manual/>>. Acessado em 11 de dez. de 2024.
- [58] ACD/LABS. “ACD/ChemSketch”. Disponível em: <[https://www.acdlabs.com/products/chem\\_dsn\\_lab/chemsketch/](https://www.acdlabs.com/products/chem_dsn_lab/chemsketch/)>. Acessado em 10 de dez. de 2024.
- [59] FOUNDATION, B. “Blender: The Free and Open Source 3D Creation Suite”. Disponível em: <<https://www.blender.org>>. Acessado em 10 de dez. de 2024.
- [60] LIKERT, R. ARCHIVES OF PSYCHOLOGY: A Technique for the Measurement of Attitudes, v. 22. New York University, 1932.
- [61] “Guidelines for Likert Survey Questions”, University of Arizona, 2021. Disponível em: <[https://www.assessmentresearch.arizona.edu/sites/default/files/2021-08/LikertScaleGuide\\_2.pdf](https://www.assessmentresearch.arizona.edu/sites/default/files/2021-08/LikertScaleGuide_2.pdf)>.
- [62] KELLER, J. M. “Development and Use of the ARCS Model of Instructional Design”, J. Instr. Dev., v. 10, pp. 2–10, 1987.
- [63] GRANIĆ, A., MARANGUNIĆ, N. “Technology acceptance model in educational context: A systematic literature review”, British Journal of Educational Technology, v. 50, pp. 2572–2593, 2019. ISSN: 14678535. doi: 10.1111/bjet.12864.
- [64] HUANG, Y.-M. “Exploring students’ acceptance of educational computer games from the perspective of learning strategy”, Australasian Journal of Educational Technology, p. 35, 2019.
- [65] KÜÇÜK, S., YILMAZ, R. M., ÖZLEM BAYDAŞ, et al. “Augmented reality applications attitude scale in secondary schools: Validity and reliability study”, Egitim ve Bilim, v. 39, pp. 388–392, 2014. ISSN: 13001337. doi: 10.15390/EB.2014.3590.
- [66] LOORBACH, N., PETERS, O., KARREMAN, J., et al. “Validation of the Instructional Materials Motivation Survey (IMMS) in a self-directed instructional setting aimed at working with technology”, British Journal of Educational Technology, v. 46, pp. 204–218, 1 2015. ISSN: 14678535. doi: 10.1111/bjet.12138.

- [67] ZABALA-VARGAS, S., GARCÍA-MORA, L., ARCINIEGAS-HERNÁNDEZ, E., et al. “Strengthening Motivation in the Mathematical Engineering Teaching Processes – A Proposal from Gamification and Game-Based Learning”, International Journal of Emerging Technologies in Learning, v. 16, pp. 4–19, 2021. ISSN: 18630383. doi: 10.3991/ijet.v16i06.16163.
- [68] SUSIE, C., RODRIGUES, C., WERNER, C. M. L. “Apoiando a Aprendizagem sobre Sistemas de Grande Escala Através da Visualização 3D”. 2013.
- [69] “py3Dmol · PyPI”. Disponível em: <<https://pypi.org/project/py3Dmol/>>. Acessado em 14 de nov. de 2024.
- [70] “The RDKit Documentation — The RDKit 2024.09.1 documentation”. Disponível em: <<https://www.rdkit.org/docs/>>. Acessado em 14 de nov. de 2024.
- [71] LARSEN, A. H., MORTENSEN, J. J., BLOMQUIST, J., et al. “The atomic simulation environment - A Python library for working with atoms”, Journal of Physics Condensed Matter, v. 29, 6 2017. ISSN: 1361648X. doi: 10.1088/1361-648X/AA680E.
- [72] “Converta PDB em FBX gratuitamente - ImageToStl”. Disponível em: <<https://imagetostl.com/pt/converter/ficheiro/pdb/para/fbx>>. Acessado em 01 de dez. de 2023.
- [73] CORMA, A. “From Microporous to Mesoporous Molecular Sieve Materials and Their Use in Catalysis”, Chemical Reviews, v. 97, n. 6, pp. 1735–2462, 1997.
- [74] BAERLOCHER, C., MCCUSKER, L. B., OLSON, D. H. “Atlas of Zeolite Framework Types, Sixth Edition”, Atlas of Zeolite Framework Types, Sixth Edition, pp. 1–398, 1 2007. doi: 10.1016/B978-0-444-53064-6.X5186-X. Disponível em: <[https://www.iza-structure.org/books/Atlas\\_6ed.pdf](https://www.iza-structure.org/books/Atlas_6ed.pdf)>.
- [75] E L.B. MCCUSKER, C. B. “Database of Zeolite Structures”. Disponível em: <<http://www.iza-structure.org/databases/>>.

# Apêndice A

## Perguntas dos Formulários de Avaliação Desenvolvidos

Neste apêndice estão apresentadas as tabelas com as perguntas desenvolvidas para cada formulário aplicado organizadas da seguinte forma:

- Tabela A.1: Formulário Prévio do Aplicativo de Zeólitas
- Tabela A.2: Formulário Pós Uso do Aplicativo de Zeólitas
- Tabela A.3: Formulário Prévio do Aplicativo de Isomeria
- Tabela A.4: Formulário Pós Uso do Aplicativo de Isomeria

### Legenda das tabelas:

As perguntas marcadas com (\*) referem-se a perguntas específicas sobre o conhecimento prévio do uso da RA para subdivisão do formulário e contam apenas com as opções Concordo e Não Concordo.

As perguntas marcadas com (\*\*) referem-se a perguntas específicas para quem respondeu *NÃO CONCORDO* na questão marcada com (\*).

As perguntas marcadas com (\*\*\*) à perguntas específicas para quem respondeu *CONCORDO* na questão marcada com (\*).

Tabela A.1: Formulário Prévio do Aplicativo de Zeólitas

#	Pergunta
01	Eu estou familiarizado com o conceito de Realidade Aumentada (RA) e a diferença entre RA e Realidade Virtual (RV).
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada pode ser uma ferramenta eficaz no ensino.
03	Eu acho que a Realidade Aumentada pode aumentar o engajamento dos alunos nas aulas.
04	Acredito que a Realidade Aumentada pode melhorar a compreensão de conceitos complexos.
05*	Eu estou familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino.
06	Eu estou familiarizado com o termo "zeólitas".
07	Eu acredito que o uso da ferramenta com RA pode melhorar minha compreensão sobre a estrutura das zeólitas.
08	A visualização tridimensional das zeólitas com o uso da realidade aumentada pode ser mais esclarecedora do que apenas com as imagens em livros didáticos e slides.
09	Na minha opinião, a experiência com a realidade aumentada pode complementar as explicações dadas pelo professor.
10	Eu acredito que o uso de Realidade Aumentada pode aumentar meu interesse por temas científicos.
11	Eu estou curioso para aprender como a Realidade Aumentada pode ser aplicada no ensino de ciências.
12	Eu acredito que a possibilidade de interação com as estruturas tridimensionais pode ser mais envolvente do que apenas assistir a vídeos explicativos.
13	Eu acho que o software de RA pode ajudar a tornar a aula mais dinâmica e envolvente.
14**	Eu estou interessado em aprender sobre o uso de Realidade Aumentada no ensino.
15**	Eu acredito que a Realidade Aumentada poderia ajudar a entender melhor temas complexos.
16***	Eu já utilizei Realidade Aumentada para fins educacionais.
17***	Eu acredito que a Realidade Aumentada pode beneficiar áreas do ensino da Engenharia e da Química.
18***	Eu conheço aplicações de RA em educação que são efetivas.

Tabela A.2: Formulário Pós Uso do Aplicativo de Zeólitas

Parte 1: Avaliação da aplicação da realidade aumentada no ensino.	
#	Pergunta
01	Após utilizar o aplicativo, sinto que meu entendimento sobre Realidade Aumentada (RA) melhorou.
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada demonstrada no aplicativo é uma ferramenta eficaz no ensino.
03	O uso do aplicativo aumentou meu engajamento na aula.
04	A Realidade Aumentada me ajudou a compreender melhor os conceitos complexos apresentados.
05	Eu me sinto mais familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino após utilizar o aplicativo.
06	O aplicativo melhorou meu conhecimento sobre o que são zeólitas.
07	A ferramenta melhorou minha compreensão sobre a estrutura das zeólitas.
08	A visualização tridimensional das zeólitas com o uso da realidade aumentada foi mais esclarecedora do que apenas com as imagens em livros didáticos e slides.
09	Na minha opinião, a experiência com a realidade aumentada complementou as explicações dadas pelo professor.
10	Acredito que o uso de Realidade Aumentada, como apresentado no aplicativo, pode aumentar meu interesse por temas científicos.
11	Estou mais interessado em aprender sobre outras aplicações da Realidade Aumentada no ensino de ciências após usar o aplicativo.
12	A interação com as estruturas tridimensionais foi mais envolvente do que apenas assistir a vídeos explicativos.
13	O software ajudou a tornar a aula mais dinâmica e envolvente.
14**	O aplicativo despertou meu interesse em aprender mais sobre a aplicação da RA no ensino.
15**	A utilização do aplicativo ajudou a superar minha falta de familiaridade com a RA no contexto educacional.
16***	O aplicativo foi uma adição valiosa ao meu conhecimento prévio sobre o uso da RA no ensino.
17***	A experiência com o aplicativo consolidou minha opinião sobre a eficácia da RA como ferramenta educacional.
18***	O aplicativo apresentou novos aspectos da RA que eu não havia considerado anteriormente.

---

Parte 2: Avaliação do Software Desenvolvido.

---

#	Pergunta
19	O aplicativo foi fácil de instalar no meu dispositivo móvel.
20	A interface do usuário do software é intuitiva e fácil de utilizar.
21	O design do software é atrativo e agradável.
22	A ferramenta não apresentou problemas técnicos durante a utilização. [Considerando o uso adequado e dentro dos padrões da mesma.]

---

Tabela A.3: Formulário Prévio do Aplicativo de Isomeria

#	Pergunta
01	Eu estou familiarizado com o conceito de Realidade Aumentada (RA) e a diferença entre RA e Realidade Virtual (RV).
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada pode ser uma ferramenta eficaz no ensino.
03	Eu acho que a Realidade Aumentada pode aumentar o engajamento dos alunos nas aulas.
04	Acredito que a Realidade Aumentada pode melhorar a compreensão de conceitos complexos.
05*	Eu estou familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino.
06	Eu tenho conhecimento sobre isomeria estrutural.
07	Eu consigo distinguir os diferentes tipos de isomeria estrutural (cadeia, posição, função, etc).
08	Eu estou familiarizado com isomeria espacial (estereoisomeria)
09	Eu entendo a diferença entre isomeria geométrica (cis/trans) e isomeria óptica (R/S)
10	Eu acredito que o uso da ferramenta com RA para visualização de moléculas tridimensionais pode ajudar na compreensão dos tipos de isomeria.
11	A visualização tridimensional das estruturas com o uso da realidade aumentada pode ser mais esclarecedora para o entendimento dos conceitos de isomeria do que apenas com o uso de imagens em livros didáticos e slides.
12	Na minha opinião, a experiência com a realidade aumentada pode complementar as explicações dadas pelo professor.
13	Eu acredito que o uso de Realidade Aumentada pode aumentar meu interesse por temas científicos.
14	Eu estou curioso para aprender como a Realidade Aumentada pode ser aplicada no ensino de ciências.
15	Eu acredito que a possibilidade de interação com as estruturas tridimensionais pode ser mais envolvente do que apenas assistir a vídeos explicativos.
16	Eu acho que o software de RA pode ajudar a tornar a aula mais dinâmica e envolvente.
17**	Eu estou interessado em aprender sobre o uso de Realidade Aumentada no ensino.

- 
- 18\*\* Eu acredito que a Realidade Aumentada poderia ajudar a entender melhor temas complexos.
- 19\*\*\* Eu já utilizei Realidade Aumentada para fins educacionais.
- 20\*\*\* Eu acredito que a Realidade Aumentada pode beneficiar áreas do ensino da Engenharia e da Química.
- 21\*\*\* Eu conheço aplicações de RA em educação que são efetivas.
-

Tabela A.4: Formulário Pós Uso do Aplicativo de Isomeria

Parte 1: Avaliação da aplicação da realidade aumentada no ensino.	
#	Pergunta
01	Após utilizar o aplicativo, sinto que meu entendimento sobre Realidade Aumentada (RA) melhorou.
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada demonstrada no aplicativo é uma ferramenta eficaz no ensino.
03	O uso do aplicativo aumentou meu engajamento na aula.
04	A Realidade Aumentada me ajudou a compreender melhor os conceitos complexos apresentados.
05	Eu me sinto mais familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino após utilizar o aplicativo.
06	Após utilizar o aplicativo, meu entendimento sobre isomeria estrutural aumentou.
07	Após utilizar o aplicativo, consigo distinguir mais facilmente os diferentes tipos de isomeria estrutural (cadeia, posição, função).
08	O uso do aplicativo melhorou minha compreensão sobre isomeria espacial (estereoisomeria).
09	Entendo melhor a diferença entre isomeria geométrica (cis/trans) e isomeria óptica (R/S) após usar o software.
10	A visualização das moléculas tridimensionais no aplicativo facilitou a compreensão dos diferentes tipos de isomeria.
11	A visualização tridimensional das estruturas com o uso da realidade aumentada foi mais esclarecedora para o entendimento dos conceitos de isomeria do que apenas com o uso de imagens em livros didáticos e slides.
12	Na minha opinião, a experiência com a realidade aumentada complementou as explicações dadas pelo professor.
13	Acredito que o uso de Realidade Aumentada, como apresentado no aplicativo, pode aumentar meu interesse por temas científicos.
14	Estou mais interessado em aprender sobre outras aplicações da Realidade Aumentada no ensino de ciências após usar o aplicativo.
15	A interação com as estruturas tridimensionais foi mais envolvente do que apenas assistir a vídeos explicativos.
16	O software ajudou a tornar a aula mais dinâmica e envolvente.
17**	O aplicativo despertou meu interesse em aprender mais sobre a aplicação da RA no ensino.

#	Pergunta
18**	A utilização do aplicativo ajudou a superar minha falta de familiaridade com a RA no contexto educacional.
19***	O aplicativo foi uma adição valiosa ao meu conhecimento prévio sobre o uso da RA no ensino.
20***	A experiência com o aplicativo consolidou minha opinião sobre a eficácia da RA como ferramenta educacional.
21***	O aplicativo apresentou novos aspectos da RA que eu não havia considerado anteriormente.
Parte 2: Avaliação do Software Desenvolvido.	
22	O aplicativo foi fácil de instalar no meu dispositivo móvel.
23	A interface do usuário do software é intuitiva e fácil de utilizar.
24	O design do software é atrativo e agradável.
25	A ferramenta não apresentou problemas técnicos durante a utilização. [Considerando o uso adequado e dentro dos padrões da mesma.]

# Apêndice B

## Tabelas de Respostas dos Formulários Aplicados

Neste apêndice estão inclusas as tabelas com as respostas para todas as perguntas de cada formulário aplicado organizadas da seguinte forma:

- **Tabela B.1:** Formulário prévio ao uso do aplicativo *ZeoliteApp* aplicado na turma COQ777 da pós graduação do PEQ - COPPE UFRJ
- **Tabela B.2:** Formulário pós uso do aplicativo *ZeoliteApp* aplicado na turma COQ777 da pós graduação do PEQ - COPPE UFRJ
- **Tabela B.3:** Formulário prévio ao uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma de Orgânica 1 da graduação do Instituto de Química - UFRJ
- **Tabela B.4:** Formulário pós uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma de Orgânica 1 da graduação do Instituto de Química - UFRJ
- **Tabela B.5:** Formulário prévio ao uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma do quarto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias.
- **Tabela B.6:** Formulário pós uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma do quarto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias.
- **Tabela B.7:** Formulário prévio ao uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma do sexto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias.
- **Tabela B.8:** Formulário pós uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma do sexto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias.

### Observação:

No formulário prévio ao uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma de Orgânica 1 da graduação do Instituto de Química - UFRJ [Tabela B.3] foram recolhidas 16 respostas, mas apenas oito delas (as marcadas com ★) foram consideradas nas análises finais, uma vez que, apenas estes oito alunos entregaram as respostas ao formulário pós uso do aplicativo *IsomeriaApp* [Tabela B.4].

### Legenda das tabelas:

Cada  $A_i$  corresponde a um aluno diferente que respondeu ao formulário.

A escala *likert* está representada por:

C - Concordo;

N - Neutro;

NC - Não Concordo.

As perguntas marcadas com (\*) referem-se a perguntas específicas sobre o conhecimento prévio do uso da RA para subdivisão do formulário e contam apenas com as opções Concordo e Não Concordo.

As perguntas marcadas com (\*\*) referem-se a perguntas específicas para quem respondeu *NÃO CONCORDO* na questão marcada com (\*).

As perguntas marcadas com (\*\*\*) à perguntas específicas para quem respondeu *CONCORDO* na questão marcada com (\*).

Tabela B.1: Formulário prévio ao uso do aplicativo *ZeoliteApp* aplicado na turma COQ777 da pós-graduação do PEQ - COPPE UFRJ

Questionário Prévio - COQ777 - PEQ UFRJ - 2024					
#	Pergunta	A1	A2	A3	A4
1	Eu estou familiarizado com o conceito de Realidade Aumentada (RA) e a diferença entre RA e Realidade Virtual (RV).	C	C	C	NC
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada pode ser uma ferramenta eficaz no ensino.	C	C	C	C
03	Eu acho que a Realidade Aumentada pode aumentar o engajamento dos alunos nas aulas.	C	C	C	C
04	Acredito que a Realidade Aumentada pode melhorar a compreensão de conceitos complexos.	C	C	C	N
05*	Eu estou familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino.	NC	NC	NC	NC
06	Eu estou familiarizado com o termo "zeólitas".	C	C	C	NC
07	Eu acredito que o uso da ferramenta com RA pode melhorar minha compreensão sobre a estrutura das zeólitas.	C	C	C	C
08	A visualização tridimensional das zeólitas com o uso da realidade aumentada pode ser mais esclarecedora do que apenas com as imagens em livros didáticos e slides.	C	C	C	C
09	Na minha opinião, a experiência com a realidade aumentada pode complementar as explicações dadas pelo professor.	C	C	C	C
10	Eu acredito que o uso de Realidade Aumentada pode aumentar meu interesse por temas científicos.	C	C	C	C
11	Eu estou curioso para aprender como a Realidade Aumentada pode ser aplicada no ensino de ciências.	C	C	C	C
12	Eu acredito que a possibilidade de interação com as estruturas tridimensionais pode ser mais envolvente do que apenas assistir a vídeos explicativos.	C	C	C	C

#	Pergunta	A1	A2	A3	A4
13	Eu acho que o software de RA pode ajudar a tornar a aula mais dinâmica e envolvente.	C	C	C	C
14**	Eu estou interessado em aprender sobre o uso de Realidade Aumentada no ensino.	C	C	C	N
15**	Eu acredito que a Realidade Aumentada poderia ajudar a entender melhor temas complexos.	C	C	C	C
16***	Eu já utilizei Realidade Aumentada para fins educacionais.	-	-	-	-
17***	Eu acredito que a Realidade Aumentada pode beneficiar áreas do ensino da Engenharia e da Química.	-	-	-	-
18***	Eu conheço aplicações de RA em educação que são efetivas.	-	-	-	-

Tabela B.2: Formulário pós uso do aplicativo *ZeoliteApp* aplicado na turma COQ777 da pós graduação do PEQ - COPPE UFRJ

Questionário Pós Uso do App - COQ777 - PEQ UFRJ - 2024					
Parte 1: Avaliação da aplicação da realidade aumentada no ensino.					
#	Pergunta	A1	A2	A3	A4
01	Após utilizar o aplicativo, sinto que meu entendimento sobre Realidade Aumentada (RA) melhorou.	C	N	C	C
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada demonstrada no aplicativo é uma ferramenta eficaz no ensino.	C	C	C	C
03	O uso do aplicativo aumentou meu engajamento na aula.	C	N	C	N
04	A Realidade Aumentada me ajudou a compreender melhor os conceitos complexos apresentados.	C	N	C	C
05	Eu me sinto mais familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino após utilizar o aplicativo.	C	N	C	N
06	O aplicativo melhorou meu conhecimento sobre o que são zeólitas.	C	N	C	N
07	A ferramenta melhorou minha compreensão sobre a estrutura das zeólitas.	C	N	C	C
08	A visualização tridimensional das zeólitas com o uso da realidade aumentada foi mais esclarecedora do que apenas com as imagens em livros didáticos e slides.	C	N	C	C
09	Na minha opinião, a experiência com a realidade aumentada complementou as explicações dadas pelo professor.	C	N	C	C
10	Acredito que o uso de Realidade Aumentada, como apresentado no aplicativo, pode aumentar meu interesse por temas científicos.	C	C	C	C
11	Estou mais interessado em aprender sobre outras aplicações da Realidade Aumentada no ensino de ciências após usar o aplicativo.	C	N	C	C

#	Pergunta	A1	A2	A3	A4
12	A interação com as estruturas tridimensionais foi mais envolvente do que apenas assistir a vídeos explicativos.	C	C	C	N
13	O software ajudou a tornar a aula mais dinâmica e envolvente.	C	N	C	N
14**	O aplicativo despertou meu interesse em aprender mais sobre a aplicação da RA no ensino.	C	C	C	C
15**	A utilização do aplicativo ajudou a superar minha falta de familiaridade com a RA no contexto educacional.	C	N	C	N
16***	O aplicativo foi uma adição valiosa ao meu conhecimento prévio sobre o uso da RA no ensino.	-	-	-	-
17***	A experiência com o aplicativo consolidou minha opinião sobre a eficácia da RA como ferramenta educacional.	-	-	-	-
18***	O aplicativo apresentou novos aspectos da RA que eu não havia considerado anteriormente.	-	-	-	-
Parte 2: Avaliação do Software Desenvolvido.					
19	O aplicativo foi fácil de instalar no meu dispositivo móvel.	C	NC	C	C
20	A interface do usuário do software é intuitiva e fácil de utilizar.	C	N	C	C
21	O design do software é atrativo e agradável.	N	N	C	C
22	A ferramenta não apresentou problemas técnicos durante a utilização. [Considerando o uso adequado e dentro dos padrões da mesma.]	NC	N	N	N







#	Pergunta	A1	A2★	A3	A4★	A5★	A6★	A7★	A8	A9	A10	A11	A12★	A13★	A14★	A15	A16
17**	Eu estou interessado em aprender sobre o uso de Realidade Aumentada no ensino.	C	C	C	N	C	C	N	C	-	C	C	N	N	C	C	C
18**	Eu acredito que a Realidade Aumentada poderia ajudar a entender melhor temas complexos.	C	C	C	C	C	C	C	C	-	C	C	C	C	C	C	C
19***	Eu já utilizei Realidade Aumentada para fins educacionais.	-	-	-	-	-	-	-	-	NC	-	-	-	-	-	-	-
20***	Eu acredito que a Realidade Aumentada pode beneficiar áreas do ensino da Engenharia e da Química.	-	-	-	-	-	-	-	-	C	-	-	-	-	-	-	-
21***	Eu conheço aplicações de RA em educação que são efetivas.	-	-	-	-	-	-	-	-	C	-	-	-	-	-	-	-

Tabela B.4: Formulário pós uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma de Orgânica 1 da graduação do Instituto de Química - UFRJ

Questionário Pós Uso do App - ORG1 - IQ UFRJ - 2024									
Parte 1: Avaliação da aplicação da realidade aumentada no ensino.									
#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
01	Após utilizar o aplicativo, sinto que meu entendimento sobre Realidade Aumentada (RA) melhorou.	N	C	C	C	C	C	N	C
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada demonstrada no aplicativo é uma ferramenta eficaz no ensino.	C	N	C	C	C	N	C	C
03	O uso do aplicativo aumentou meu engajamento na aula.	N	C	C	C	C	N	N	N
04	A Realidade Aumentada me ajudou a compreender melhor os conceitos complexos apresentados.	C	N	C	C	C	C	N	C
05	Eu me sinto mais familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino após utilizar o aplicativo.	C	C	C	C	C	C	N	N
06	Após utilizar o aplicativo, meu entendimento sobre isomeria estrutural aumentou.	C	C	C	C	C	N	N	N
07	Após utilizar o aplicativo, consigo distinguir mais facilmente os diferentes tipos de isomeria estrutural (cadeia, posição, função).	N	C	C	C	C	C	N	C
08	O uso do aplicativo melhorou minha compreensão sobre isomeria espacial (estereoisomeria).	N	C	C	C	C	C	C	C
09	Entendo melhor a diferença entre isomeria geométrica (cis/trans) e isomeria óptica (R/S) após usar o software.	N	C	C	C	C	N	C	C
10	A visualização das moléculas tridimensionais no aplicativo facilitou a compreensão dos diferentes tipos de isomeria.	C	C	C	C	C	C	C	C

#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
11	A visualização tridimensional as estruturas com o uso da realidade aumentada foi mais esclarecedora para o entendimento dos conceitos de isomeria do que apenas com o uso de imagens em livros didáticos e slides.	C	C	C	C	C	C	C	C
12	Na minha opinião, a experiência com a realidade aumentada complementou as explicações dadas pelo professor.	C	C	C	C	C	C	N	C
13	Acredito que o uso de Realidade Aumentada, como apresentado no aplicativo, pode aumentar meu interesse por temas científicos.	N	N	C	C	C	N	N	C
14	Estou mais interessado em aprender sobre outras aplicações da Realidade Aumentada no ensino de ciências após usar o aplicativo.	N	N	C	C	C	N	N	C
15	A interação com as estruturas tridimensionais foi mais envolvente do que apenas assistir a vídeos explicativos.	NC	C	C	C	C	C	C	C
16	O software ajudou a tornar a aula mais dinâmica e envolvente.	C	C	C	C	C	N	N	N
17**	O aplicativo despertou meu interesse em aprender mais sobre a aplicação da RA no ensino.	-	C	C	N	C	N	-	N
18**	A utilização do aplicativo ajudou a superar minha falta de familiaridade com a RA no contexto educacional.	-	N	C	C	C	C	-	C
19***	O aplicativo foi uma adição valiosa ao meu conhecimento prévio sobre o uso da RA no ensino.	N	-	-	-	-	-	N	-
20***	A experiência com o aplicativo consolidou minha opinião sobre a eficácia da RA como ferramenta educacional.	C	-	-	-	-	-	C	-
21***	O aplicativo apresentou novos aspectos da RA que eu não havia considerado anteriormente.	NC	-	-	-	-	-	N	-
Parte 2: Avaliação do Software Desenvolvido.									
22	O aplicativo foi fácil de instalar no meu dispositivo móvel.	C	C	C	C	N	C	C	C

#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
23	A interface do usuário do software é intuitiva e fácil de utilizar.	N	C	C	C	N	C	C	C
24	O design do software é atrativo e agradável.	N	N	C	N	N	N	C	N
25	A ferramenta não apresentou problemas técnicos durante a utilização. [Considerando o uso adequado e dentro dos padrões da mesma.]	C	C	C	C	N	N	C	C

Tabela B.5: Formulário prévio ao uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma do quarto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias.

Questionário Prévio - 4 <sup>o</sup> Período Técnico em Química - Flama Caxias - 2024																	
#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16
1	Eu estou familiarizado com o conceito de Realidade Aumentada (RA) e a diferença entre RA e Realidade Virtual (RV).	C	N	NC	N	N	N	N	C	N	N	C	C	N	NC	C	C
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada pode ser uma ferramenta eficaz no ensino.	C	C	N	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
03	Eu acho que a Realidade Aumentada pode aumentar o engajamento dos alunos nas aulas.	N	N	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
04	Acredito que a Realidade Aumentada pode melhorar a compreensão de conceitos complexos.	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	N	C	C	C	C	C	C
05*	Eu estou familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino.	C	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC								
06	Eu tenho conhecimento sobre isomeria estrutural.	N	N	N	N	NC	C	C	C	NC	N	C	C	C	C	C	C
07	Eu consigo distinguir os diferentes tipos de isomeria estrutural (cadeia, posição, função, etc).	NC	C	N	N	NC	C	C	N	N	C	C	C	C	C	C	C





Tabela B.6: Formulário pós uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma do quarto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias.

Questionário Pós Uso do App - 4 <sup>o</sup> Período Técnico em Química - Flama Caxias - 2024																	
Parte 1: Avaliação da aplicação da realidade aumentada no ensino.																	
#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16
01	Após utilizar o aplicativo, sinto que meu entendimento sobre Realidade Aumentada (RA) melhorou.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada demonstrada no aplicativo é uma ferramenta eficaz no ensino.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
03	O uso do aplicativo aumentou meu engajamento na aula.	C	N	C	C	C	C	C	N	C	C	C	C	C	C	C	C
04	A Realidade Aumentada me ajudou a compreender melhor os conceitos complexos apresentados.	C	C	C	C	C	C	C	C	N	C	C	N	C	C	C	C
05	Eu me sinto mais familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino após utilizar o aplicativo.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N	C	C	C	N	C
06	Após utilizar o aplicativo, meu entendimento sobre isomeria estrutural aumentou.	N	C	C	C	C	N	C	C	C	C	N	C	C	C	C	C
07	Após utilizar o aplicativo, consigo distinguir mais facilmente os diferentes tipos de isomeria estrutural (cadeia, posição, função).	N	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C



#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16
14	Estou mais interessado em aprender sobre outras aplicações da Realidade Aumentada no ensino de ciências após usar o aplicativo.	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
15	A interação com as estruturas tridimensionais foi mais envolvente do que apenas assistir a vídeos explicativos.	C	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
16	O software ajudou a tornar a aula mais dinâmica e envolvente.	C	C	C	C	C	C	C	N	C	C	C	C	C	C	C	C
17**	O aplicativo despertou meu interesse em aprender mais sobre a aplicação da RA no ensino.	-	C	C	C	C	C	C	C	C	N	-	C	C	C	C	C
18**	A utilização do aplicativo ajudou a superar minha falta de familiaridade com a RA no contexto educacional.	-	N	C	C	C	C	C	C	C	C	-	C	C	C	N	C
19***	O aplicativo foi uma adição valiosa ao meu conhecimento prévio sobre o uso da RA no ensino.	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	-	-	-	-	-
20***	A experiência com o aplicativo consolidou minha opinião sobre a eficácia da RA como ferramenta educacional.	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	-	-	-	-	-
21***	O aplicativo apresentou novos aspectos da RA que eu não havia considerado anteriormente.	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NC	-	-	-	-	-

#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16
Parte 2: Avaliação do Software Desenvolvido.																	
22	O aplicativo foi fácil de instalar no meu dispositivo móvel.	NC	NC	N	NC	C	C	C	-	C	C	C	NC	C	N	C	C
23	A interface do usuário do software é intuitiva e fácil de utilizar.	N	C	C	C	C	C	C	-	C	C	C	N	C	C	C	C
24	O design do software é atrativo e agradável.	N	C	C	C	C	C	C	-	N	C	N	N	C	C	C	C
25	A ferramenta não apresentou problemas técnicos durante a utilização. [Considerando o uso adequado e dentro dos padrões da mesma.]	C	N	C	C	C	C	NC	-	NC	C	C	N	N	NC	C	C

Tabela B.7: Formulário prévio ao uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma do sexto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias.

Questionário Prévio - 6 <sup>o</sup> Período Técnico em Química - Flama Caxias - 2024													
#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
1	Eu estou familiarizado com o conceito de Realidade Aumentada (RA) e a diferença entre RA e Realidade Virtual (RV).	C	NC	N	N	NC	N	N	N	N	N	C	C
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada pode ser uma ferramenta eficaz no ensino.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
03	Eu acho que a Realidade Aumentada pode aumentar o engajamento dos alunos nas aulas.	N	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
04	Acredito que a Realidade Aumentada pode melhorar a compreensão de conceitos complexos.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
05*	Eu estou familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino.	NC	NC	NC	NC	NC	NC	C	C	NC	NC	C	NC
06	Eu tenho conhecimento sobre isomeria estrutural.	N	C	C	C	C	C	C	N	C	N	C	C
07	Eu consigo distinguir os diferentes tipos de isomeria estrutural (cadeia, posição, função, etc).	N	N	C	N	C	N	N	C	N	N	N	N
08	Eu estou familiarizado com isomeria espacial (estereoisomeria).	N	NC	N	N	N	N	N	N	N	NC	C	C
09	Eu entendo a diferença entre isomeria geométrica (cis/trans) e isomeria óptica (R/S).	N	NC	C	C	NC	C	N	N	N	N	C	C
10	Eu acredito que o uso da ferramenta com RA para visualização de moléculas tridimensionais pode ajudar na compreensão dos tipos de isomeria.	N	C	C	C	C	C	C	N	C	C	C	C

#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
11	A visualização tridimensional das estruturas com o uso da realidade aumentada pode ser mais esclarecedora para o entendimento dos conceitos de isomeria do que apenas com o uso de imagens em livros didáticos e slides.	N	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
12	Na minha opinião, a experiência com a realidade aumentada pode complementar as explicações dadas pelo professor.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N
13	Eu acredito que o uso de Realidade Aumentada pode aumentar meu interesse por temas científicos.	N	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
14	Eu estou curioso para aprender como a Realidade Aumentada pode ser aplicada no ensino de ciências.	C	C	C	C	C	C	C	N	C	C	C	C
15	Eu acredito que a possibilidade de interação com as estruturas tridimensionais pode ser mais envolvente do que apenas assistir a vídeos explicativos.	N	C	C	C	C	N	C	-	C	C	C	C
16	Eu acho que o software de RA pode ajudar a tornar a aula mais dinâmica e envolvente.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N	C
17**	Eu estou interessado em aprender sobre o uso de Realidade Aumentada no ensino.	C	C	C	C	C	C	-	-	C	C	-	C
18**	Eu acredito que a Realidade Aumentada poderia ajudar a entender melhor temas complexos.	C	C	C	C	C	C	-	-	C	C	-	C
19***	Eu já utilizei Realidade Aumentada para fins educacionais.	-	-	-	-	-	-	C	C	-	-	NC	-
20***	Eu acredito que a Realidade Aumentada pode beneficiar áreas do ensino da Engenharia e da Química.	-	-	-	-	-	-	C	C	-	-	C	-
21***	Eu conheço aplicações de RA em educação que são efetivas.	-	-	-	-	-	-	N	C	-	-	N	-

Tabela B.8: Formulário pós uso do aplicativo *IsomeriaApp* aplicado na turma do sexto Período do Técnico em Química do Colégio Flama - Caxias.

Questionário Pós Uso do App - 6 <sup>o</sup> Período Técnico em Química - Flama Caxias - 2024													
Parte 1: Avaliação da aplicação da realidade aumentada no ensino.													
#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
01	Após utilizar o aplicativo, sinto que meu entendimento sobre Realidade Aumentada (RA) melhorou.	N	C	C	C	C	N	C	C	C	C	N	C
02	Eu acredito que a Realidade Aumentada demonstrada no aplicativo é uma ferramenta eficaz no ensino.	C	C	C	C	C	N	C	C	C	C	C	C
03	O uso do aplicativo aumentou meu engajamento na aula.	N	C	C	C	C	N	C	C	N	C	NC	C
04	A Realidade Aumentada me ajudou a compreender melhor os conceitos complexos apresentados.	C	C	C	C	C	C	C	N	C	N	N	C
05	Eu me sinto mais familiarizado com o uso de Realidade Aumentada no ensino após utilizar o aplicativo.	N	C	C	N	C	C	C	N	C	C	NC	C
06	Após utilizar o aplicativo, meu entendimento sobre isomeria estrutural aumentou.	N	N	C	C	C	C	C	N	C	C	N	C
07	Após utilizar o aplicativo, consigo distinguir mais facilmente os diferentes tipos de isomeria estrutural (cadeia, posição, função).	N	N	C	C	C	C	C	N	C	N	C	C
08	O uso do aplicativo melhorou minha compreensão sobre isomeria espacial (estereoisomeria).	N	N	C	C	C	N	C	N	N	N	N	N
09	Entendo melhor a diferença entre isomeria geométrica (cis/trans) e isomeria óptica (R/S) após usar o software.	C	NC	C	C	N	N	C	N	N	C	C	C
10	A visualização das moléculas tridimensionais no aplicativo facilitou a compreensão dos diferentes tipos de isomeria.	N	N	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C



#	Pergunta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Parte 2: Avaliação do Software Desenvolvido.													
22	O aplicativo foi fácil de instalar no meu dispositivo móvel.	NC	C	C	C	C	C	C	NC	C	C	NC	C
23	A interface do usuário do software é intuitiva e fácil de utilizar.	N	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
24	O design do software é atrativo e agradável.	C	N	C	N	C	C	N	C	C	C	N	C
25	A ferramenta não apresentou problemas técnicos durante a utilização. [Considerando o uso adequado e dentro dos padrões da mesma.]	N	N	N	C	C	N	N	C	NC	C	C	C

# Apêndice C

## Códigos Desenvolvidos em C#

Neste apêndice estão disponíveis os códigos, programados em C#, mais importantes para o desenvolvimento dos aplicativos obtidos nessa dissertação.

Os códigos fornecidos são os seguintes:

- Figura C.1 - Código para movimentação entre as páginas do aplicativo desenvolvido [*IsomeriaApp*];
- Figura C.2 - Código que permite interação com o objeto 3D projetado em tela [*IsomeriaApp*];
- Figura C.3 - Código para troca entre os objetos projetados em tela;
- Figura C.4 - Código para interação via zoom com o objeto 3D projetado em tela [*ZeoliteApp*];
- Figura C.5 - Código para interação via rotação com o objeto 3D projetado em tela [*ZeoliteApp*];
- Figura C.6 - Código para controle das cenas via menu principal [*ZeoliteApp*];
- Figura C.7 - Código para interação com o PopUp de informações.

```
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class SceneLoader : MonoBehaviour
{
    // Escolher a cena no Editor da Unity
    public string sceneName;

    // Carregar a cena
    public void LoadScene()
    {
        // Verifica se o nome da cena não está vazio
        if (!string.IsNullOrEmpty(sceneName))
        {
            SceneManager.LoadScene(sceneName);
        }
        else
        {
            Debug.LogWarning("O nome da cena não foi definido.");
        }
    }
}
```

Figura C.1: Código para movimentação entre as páginas do aplicativo desenvolvido [IsomeriaApp]

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class ObjectControl : MonoBehaviour
{
    public float rotationSpeed = 0.2f; // Velocidade de rotação
    public float zoomSpeed = 0.5f; // Velocidade do zoom
    public float minZoom = 1.0f; // Zoom mínimo
    public float maxZoom = 10.0f; // Zoom máximo

    private Vector3 touchStart; // Ponto de toque inicial para rotação
    private float initialDistance; // Distância inicial entre os dedos (para zoom)
    private Vector3 initialScale; // Escala inicial do objeto

    private void Start()
    {
        initialScale = transform.localScale; // Armazena a escala inicial do objeto
    }

    void Update()
    {
        if (Input.touchCount == 1) // Um dedo na tela: rotação
        {
            Touch touch = Input.GetTouch(0);
            if (touch.phase == TouchPhase.Moved)
            {
                // Obtém a direção do movimento do dedo
                float rotX = touch.deltaPosition.y * rotationSpeed;
                float rotY = -touch.deltaPosition.x * rotationSpeed;

                // Aplica a rotação no objeto
                transform.Rotate(Vector3.up, rotY, Space.World);
                transform.Rotate(Vector3.right, rotX, Space.World);
            }
        }
        else if (Input.touchCount == 2) // Dois dedos na tela: zoom (pinça)
        {
            Touch touch1 = Input.GetTouch(0);
            Touch touch2 = Input.GetTouch(1);

            // Verifica se pelo menos um dos dedos se moveu
            if (touch1.phase == TouchPhase.Moved || touch2.phase == TouchPhase.Moved)
            {
                // Calcula a distância entre os dois dedos
                float currentDistance = Vector2.Distance(touch1.position, touch2.position);

                // Se a distância inicial não foi registrada, define-a
                if (initialDistance == 0)
                {
                    initialDistance = currentDistance;
                }

                // Calcula a mudança de zoom com base na diferença de distância
                float distanceDifference = currentDistance - initialDistance;
                float zoomFactor = 1 + distanceDifference * zoomSpeed * Time.deltaTime;

                // Aplica o zoom, garantindo que não ultrapasse os limites mínimo e máximo
                Vector3 newScale = transform.localScale * zoomFactor;
                newScale = Vector3.Max(initialScale * minZoom, Vector3.Min(initialScale * maxZoom, newScale));
                transform.localScale = newScale;

                // Atualiza a distância inicial
                initialDistance = currentDistance;
            }
        }
        else
        {
            // Reseta a distância inicial quando não há dois dedos na tela
            initialDistance = 0;
        }
    }
}

```

Figura C.2: Código que permite interação com o objeto 3D projetado em tela [IsomeriaApp]

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI; // Necessário para usar UI (Text)

public class ObjectSwitcher : MonoBehaviour
{
    // Lista de objetos que serão alternados
    public List<GameObject> objects;

    // Lista de textos personalizados correspondentes aos objetos
    public List<string> customTexts;

    // Índice do objeto atualmente ativo
    private int currentIndex = 0;

    // Referência ao componente de texto na UI
    public Text objectNameText; // Ou use TextMeshProUGUI se preferir TMPro

    // Método que será chamado ao clicar no botão
    public void SwitchObject()
    {
        if (objects.Count == 0)
        {
            Debug.LogWarning("A lista de objetos está vazia.");
            return;
        }

        // Desativa o objeto atual
        objects[currentIndex].SetActive(false);

        // Incrementa o índice para passar ao próximo objeto
        currentIndex = (currentIndex + 1) % objects.Count;

        // Ativa o próximo objeto
        objects[currentIndex].SetActive(true);

        // Atualiza o texto com o texto personalizado correspondente ao objeto ativo
        if (objectNameText != null && currentIndex < customTexts.Count)
        {
            objectNameText.text = customTexts[currentIndex]; // Texto personalizado
        }
        else
        {
            Debug.LogWarning("O componente de texto ou o texto personalizado não está atribuído corretamente.");
        }
    }
}

```

Figura C.3: Código para troca entre os objetos projetados em tela

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class ObjectScaler : MonoBehaviour
{
    // Attach to the Slider GameObject in the Hierarchy
    // On the On Value Changed Field > select the slider GameObject > On the dropdown select ObjectScaler.ScaleObject

    public GameObject objectToScale;
    public Slider scaleSlider;
    public float minScale = 0.1f;
    public float maxScale = 2f;

    private void Start()
    {
        // Set up the slider range
        scaleSlider.minValue = minScale;
        scaleSlider.maxValue = maxScale;
        // Set initial scale value
        scaleSlider.value = objectToScale.transform.localScale.x;
    }

    public void ScaleObject()
    {
        // Get the scale value from the slider
        float newScale = scaleSlider.value;
        // Clamp the scale value
        newScale = Mathf.Clamp(newScale, minScale, maxScale);
        // Apply the new scale to the object
        objectToScale.transform.localScale = new Vector3(newScale, newScale, newScale);
    }
}

```

Figura C.4: Código para interação via zoom com o objeto 3D projetado em tela [ZeoliteApp]

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class RotateFull : MonoBehaviour
{
    // Attach to the some empty GameObject in the Hierarchy
    public GameObject objectToRotate;
    public float rotationSpeed = 20f; // Adjust this value to control rotation speed

    private bool isRotating = false;
    private Vector2 lastTouchPosition;

    void Update()
    {
        // Check if user is touching the screen
        if (Input.touchCount > 0)
        {
            Touch touch = Input.GetTouch(0);

            // Check if touch phase began
            if (touch.phase == TouchPhase.Began)
            {
                // Record initial touch position
                lastTouchPosition = touch.position;
                isRotating = true;
            }

            // Check if touch phase moved and rotation is enabled
            else if (touch.phase == TouchPhase.Moved && isRotating)
            {
                // Calculate the rotation angles based on finger movement
                float rotationX = (touch.position.y - lastTouchPosition.y) * rotationSpeed * Time.deltaTime;
                float rotationY = -(touch.position.x - lastTouchPosition.x) * rotationSpeed * Time.deltaTime;

                // Apply rotation to the object
                objectToRotate.transform.Rotate(Vector3.right, rotationX, Space.World);
                objectToRotate.transform.Rotate(Vector3.up, rotationY, Space.World);

                // Update the last touch position
                lastTouchPosition = touch.position;
            }

            // Check if touch phase ended
            else if (touch.phase == TouchPhase.Ended)
            {
                isRotating = false;
            }
        }
    }
}

```

Figura C.5: Código para interação via rotação com o objeto 3D projetado em tela [ZeoliteApp]

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class MenuController : MonoBehaviour
{
    public Dropdown dropdown;

    void Start()
    {
        dropdown.onValueChanged.AddListener(OnDropdownValueChanged);
    }

    void OnDropdownValueChanged(int index)
    {
        // Debug.Log("Opção selecionada:" + dropdown.options[index].text);
        // Obtém o nome da opção selecionada
        string selectedOption = dropdown.options[index].text;

        // Lógica para carregar a cena de RA

        LoadARScene(selectedOption);
    }

    void LoadARScene(string sceneName)
    {
        // Verifica se a cena existe
        if (SceneManager.GetSceneByName(sceneName) != null){
            //Carrega a cena
            SceneManager.LoadScene(sceneName);
        }
        else
        {
            Debug.LogError("A cena" + sceneName + "não foi encontrada.");
        }
    }
}

```

Figura C.6: Código para controle das cenas via menu principal [ZeoliteApp]

```
using UnityEngine;

public class PopupInfoController : MonoBehaviour
{
    void Start()
    {
        gameObject.SetActive(false);
    }

    public void ShowPopup()
    {
        gameObject.SetActive(true);
    }

    public void HidePopup()
    {
        gameObject.SetActive(false);
    }
}
```

Figura C.7: Código para interação com o PopUp de informações

## Apêndice D

# Instalação dos Aplicativos e Manuais Disponibilizados

Todos os aplicativos desenvolvidos estão disponíveis para instalação por meio do *QR Code* apresentado na Figura D.1. Para realizar a instalação, o usuário deve selecionar o aplicativo desejado na "árvore de links", baixar o arquivo .apk na pasta correspondente e seguir as instruções do dispositivo móvel compatível.



Figura D.1: QR Code para página de direcionamento para download dos aplicativos.

Os aplicativos *ZeoliteApp* e *IsomeriaApp* possuem manuais do usuário, que detalham o processo de instalação, funcionalidades e requisitos mínimos do sistema operacional. Devido aos diferentes níveis de ensino para os quais foram desenvolvidos, o Guia do Usuário do *IsomeriaApp* está em português, enquanto o *User's Guide do ZeoliteApp* encontra-se em inglês. Todos os manuais estão disponíveis na íntegra neste Apêndice, organizados da seguinte forma:

- User's Guide for *ZeoliteApp* (Figuras D.2 a D.14).
- Guia do Usuário para o *IsomeriaApp* (Figuras D.15 a D.28).

Além disso, considerando o contínuo aprimoramento dos aplicativos, optou-se por não disponibilizá-los em lojas online, como a *Play Store* do *Google*. Em vez disso, os links para download são fornecidos por meio de plataformas como *Google Drive* e *GitHub*, permitindo o acesso a diferentes versões e facilitando eventuais atualizações.



Figura D.2: Página 1 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.



Figura D.3: Página 2 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.



Figura D.4: Página 3 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.

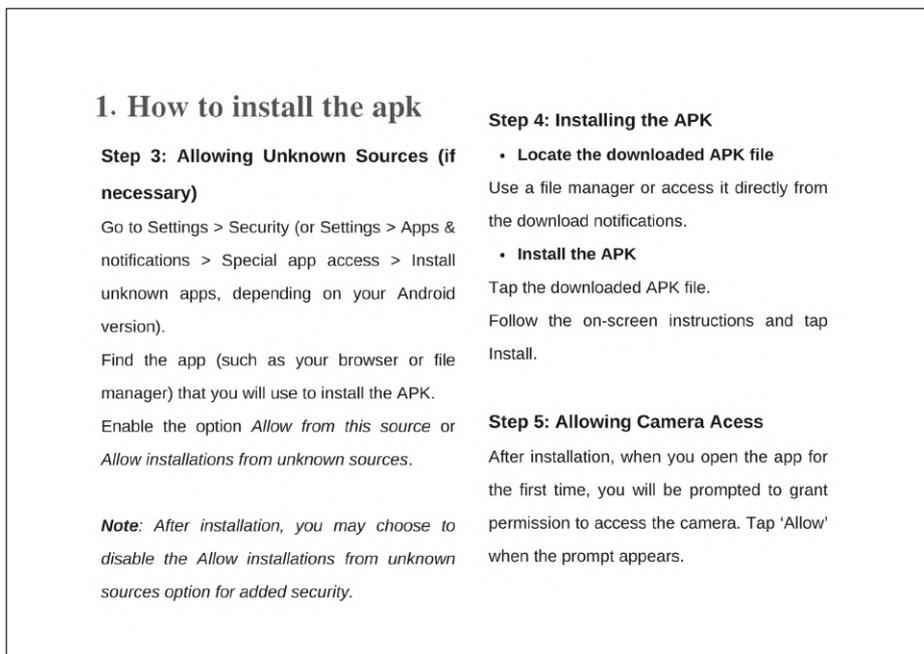


Figura D.5: Página 4 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.

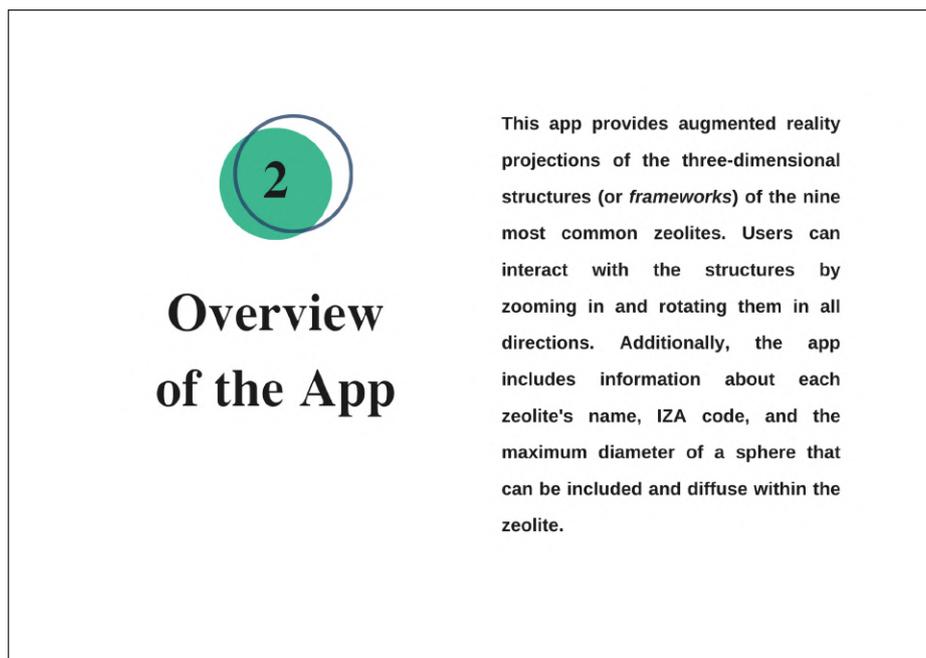


Figura D.6: Página 5 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.

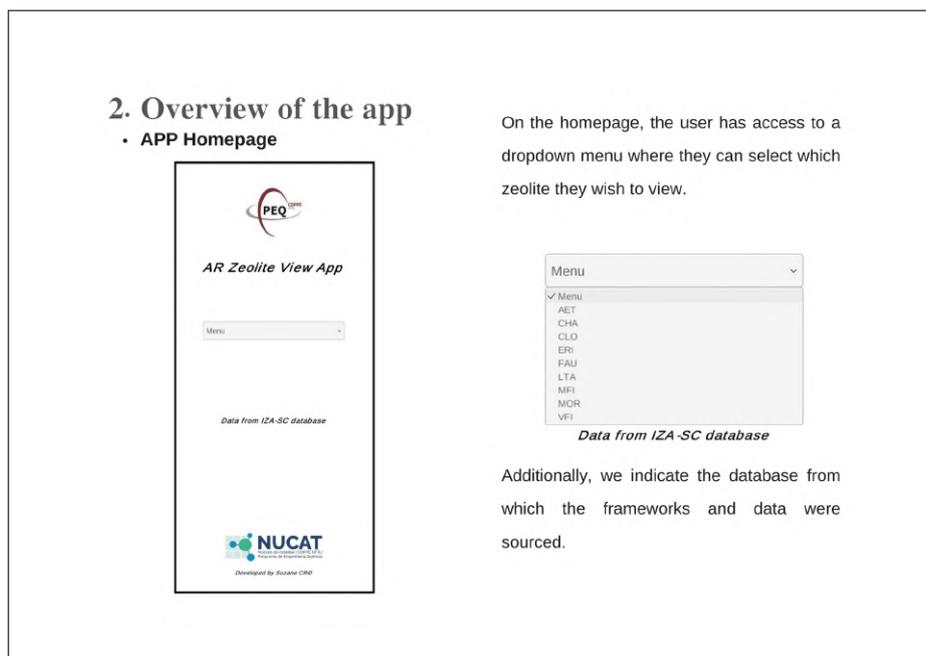


Figura D.7: Página 6 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.

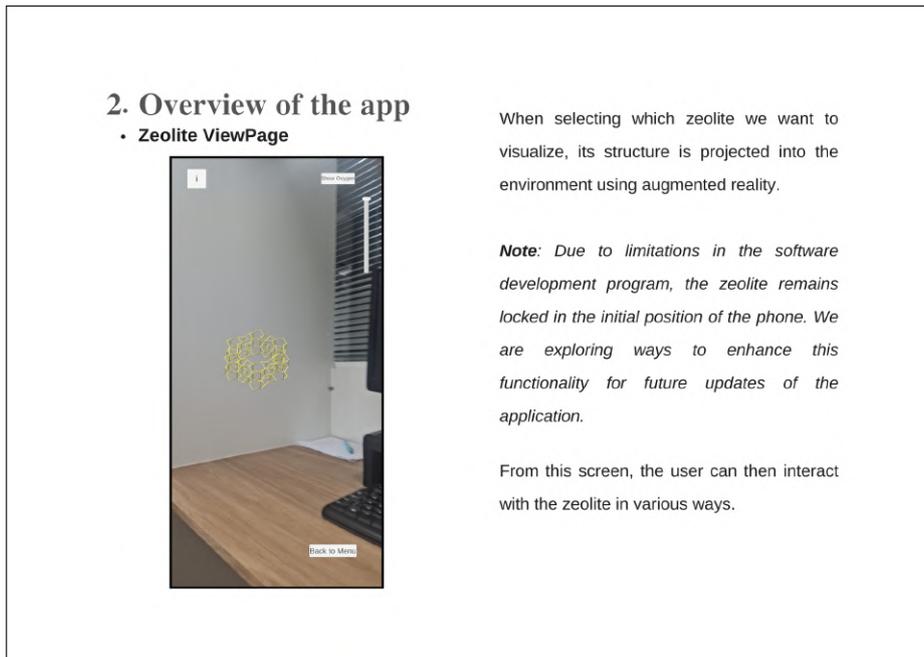


Figura D.8: Página 7 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.

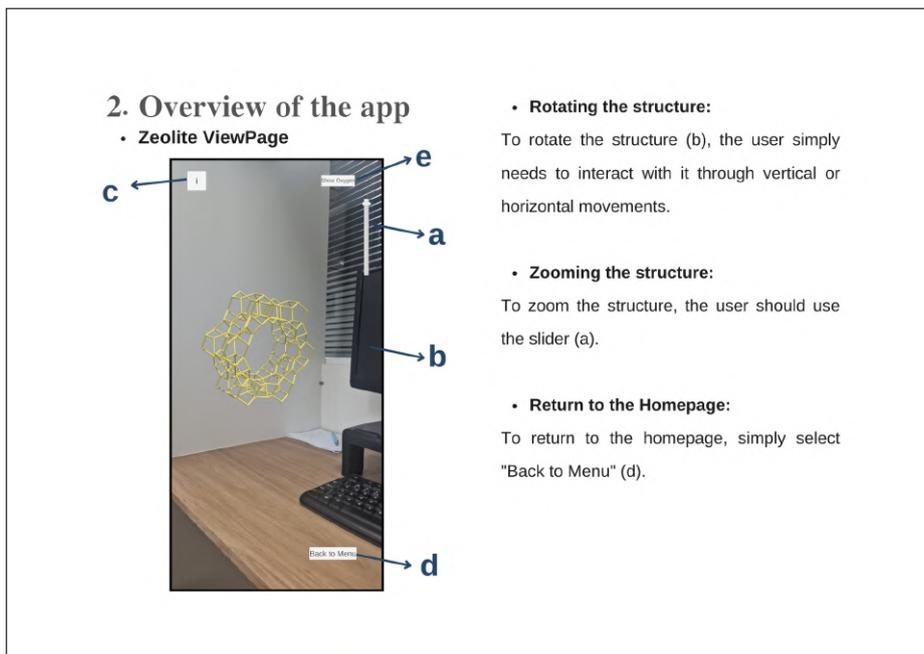


Figura D.9: Página 8 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.

## 2. Overview of the app

### • Zeolite ViewPage



### • Show the Oxygen atoms:

If the user presses the "Show Oxygen" (e) button, the zeolite structure will change, displaying one with oxygen atoms represented by red spheres.

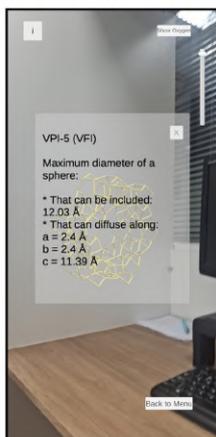
The user can interact with this structure in the same way as previously described.

To return to the structure without the oxygen atoms, simply press the "Show Oxygen" (e) button again.

Figura D.10: Página 9 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.

## 2. Overview of the app

### • Zeolite ViewPage



### • Information PopUp:

To access the information popup, the user just needs to click on the info button (c).

In the information popup, users can find relevant information such as the zeolite name, IZA code, and the maximum diameter of a sphere that can be included and diffuse within the zeolite.

To close the information popup, the user just needs to click on the X at the right upper corner.

Figura D.11: Página 10 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.

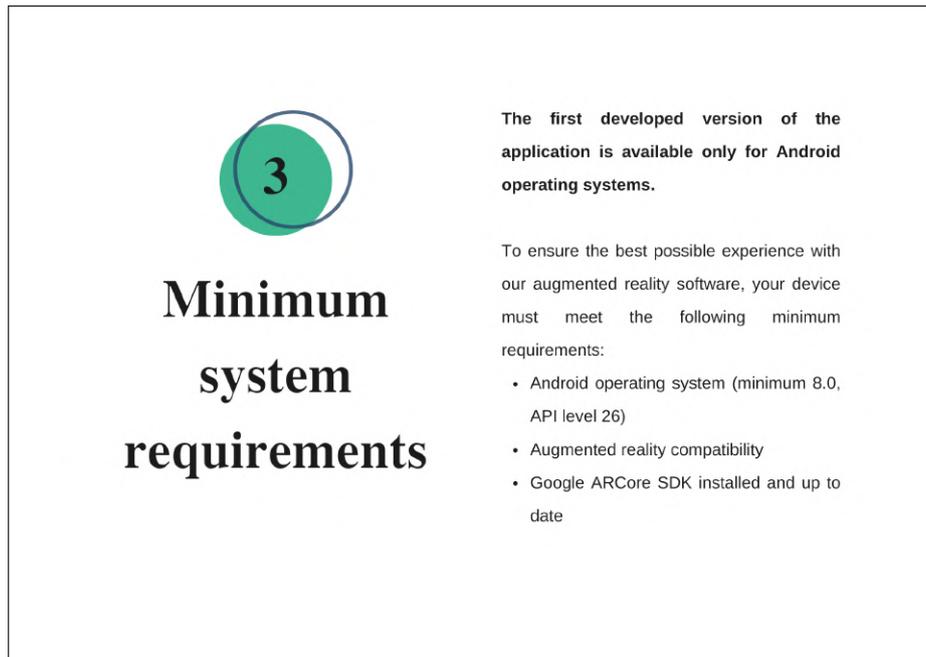


Figura D.12: Página 11 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.



Figura D.13: Página 12 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.

**Disclaimer:** This work is being conducted as part of the master's thesis of the student responsible for developing the software. All images presented in this guide are authored and the responsibility of the author, and unauthorized reproduction is prohibited.



Figura D.14: Página 13 do Manual para o Aplicativo *ZeoliteApp*.

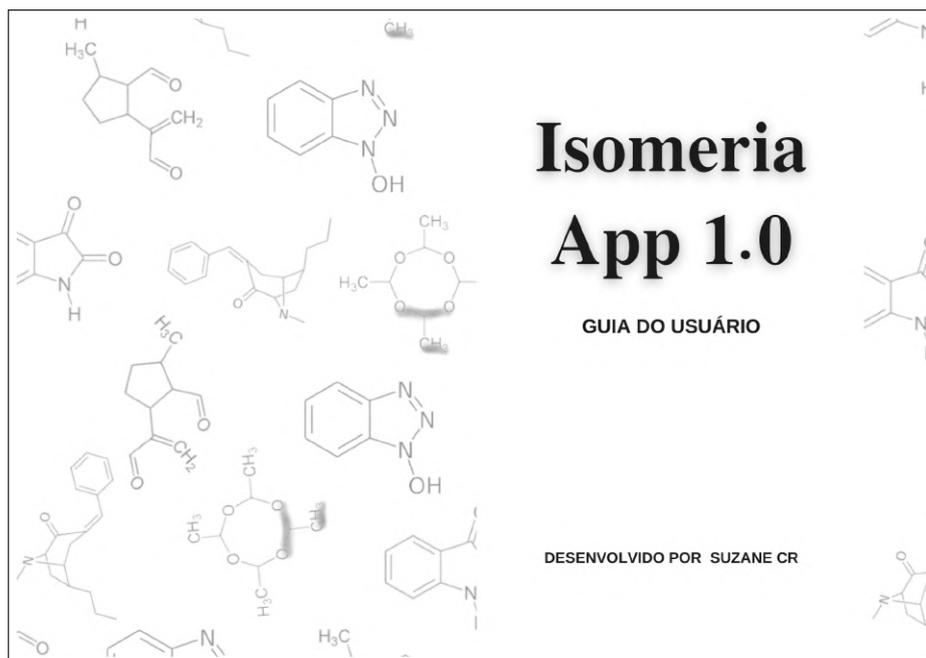


Figura D.15: Página 1 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.



Figura D.16: Página 2 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.

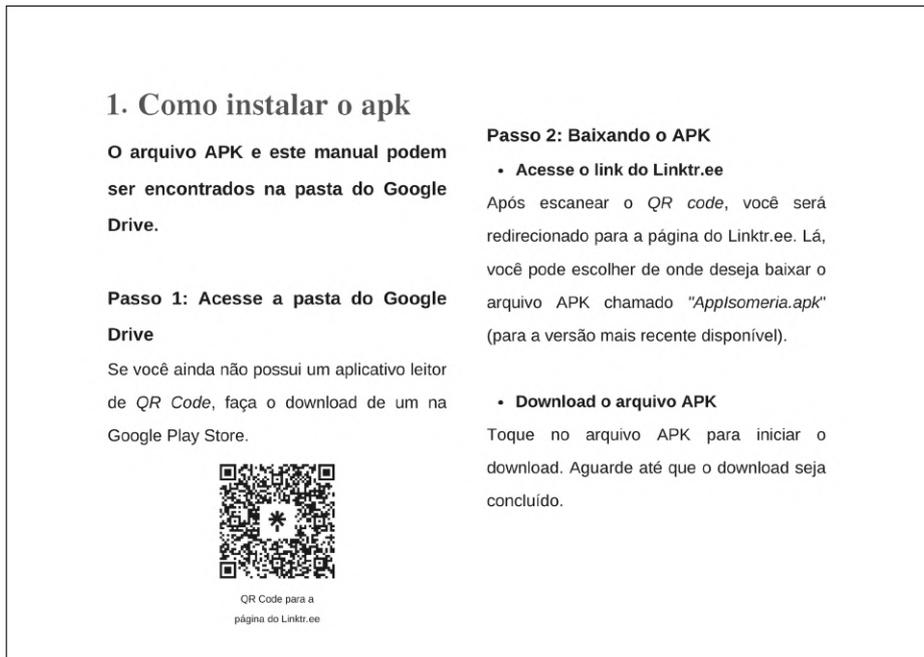


Figura D.17: Página 3 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.

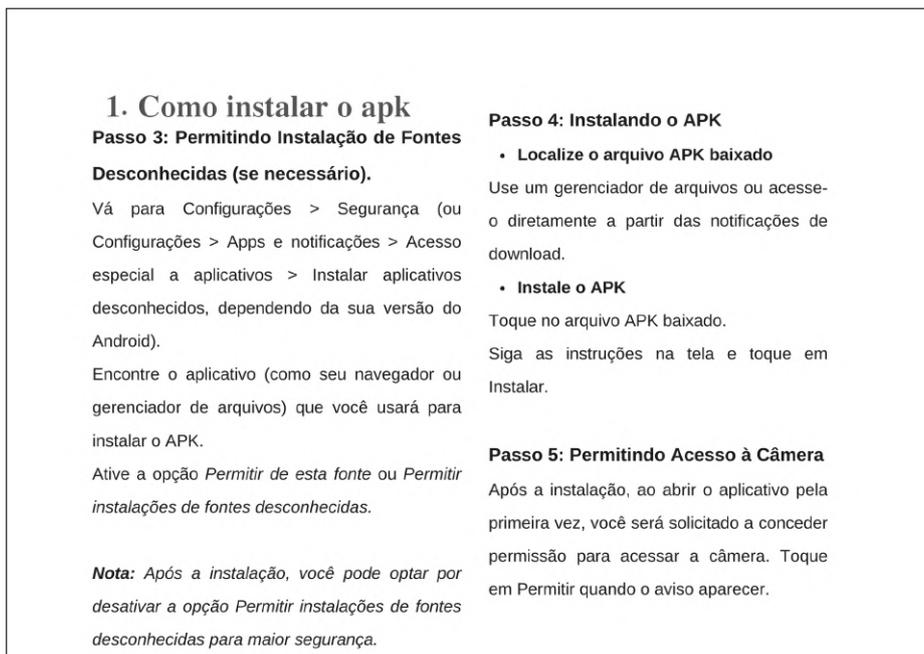


Figura D.18: Página 4 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.



Figura D.19: Página 5 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.



Figura D.20: Página 6 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.

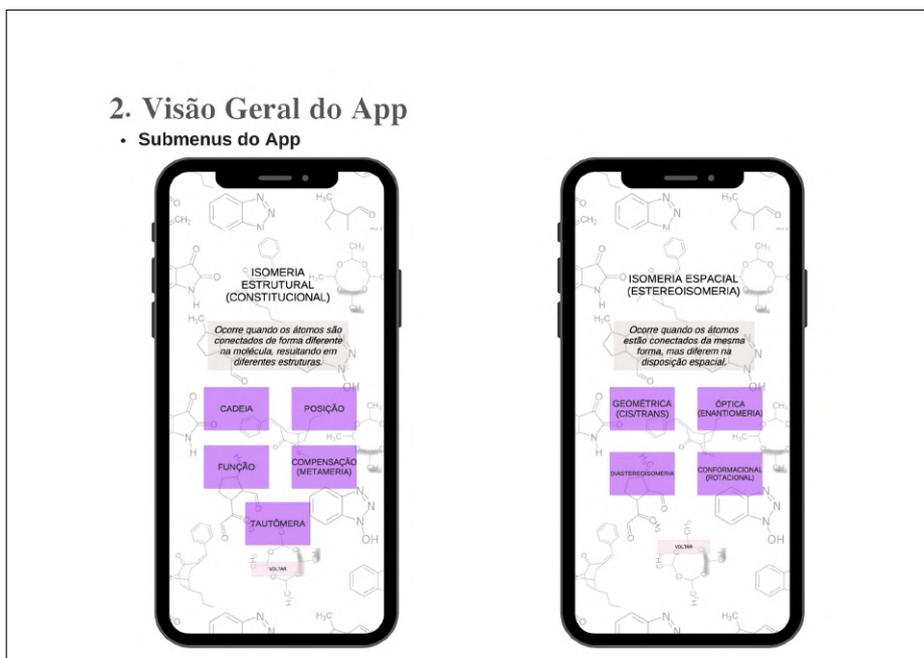


Figura D.21: Página 7 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.



Figura D.22: Página 8 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.



Figura D.23: Página 9 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.



Figura D.24: Página 10 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.

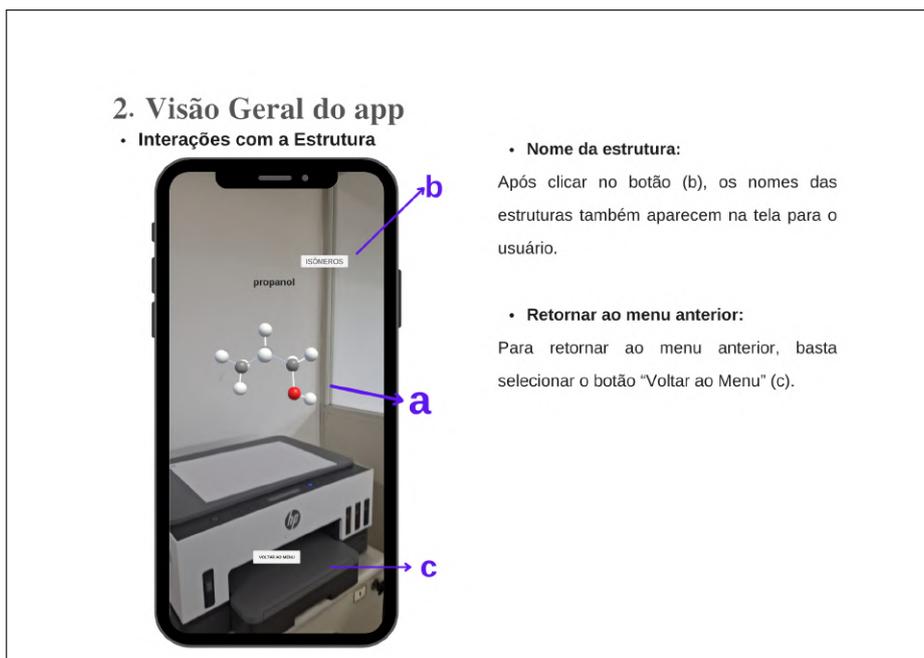


Figura D.25: Página 11 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.



## Requisitos Mínimos do Sistema

A primeira versão desenvolvida do aplicativo está disponível apenas para sistemas operacionais Android.

Para garantir a melhor experiência possível com nosso software de realidade aumentada, seu dispositivo deve atender aos seguintes requisitos mínimos:

- Sistema operacional Android (mínimo 8.0, nível da API 26)
- Compatibilidade com realidade aumentada
- Google ARCore SDK instalado e atualizado

Figura D.26: Página 12 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.

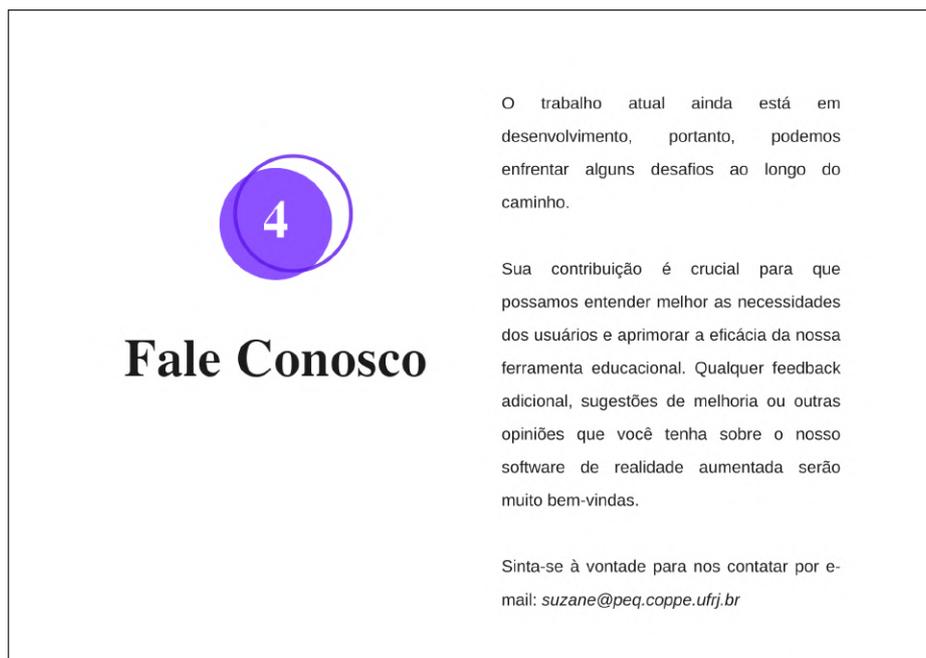


Figura D.27: Página 13 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.



Figura D.28: Página 14 do Manual para o Aplicativo *IsomeriaApp*.

# Apêndice E

## Desenvolvimento dos Aplicativos Adicionais

Dois aplicativos adicionais foram desenvolvidos durante o período dessa dissertação: o *VisuApp*, desenvolvido para apresentação no I Congresso de Popularização da Pesquisa Científica da Escola de Química (EQPOP), e o *COF and Zeolites Visualization App*, ainda em desenvolvimento, a pedido de um professor do Instituto de Química para seu laboratório.

### E.1 Metodologia de Desenvolvimento

O aplicativo *VisuApp* foi um aplicativo projetado para demonstração no congresso cujo público alvo eram alunos do ensino médio de diferentes redes de ensino. Como não era um contexto de sala de aula, não havia sentido em utilizar os aplicativos previamente desenvolvidos pois não haveria tempo hábil de explicar o conceito de zeólitas ou até de ensinar isomeria. Portanto, a intenção era apenas fomentar o interesse dos jovens e professores na aplicação da RA como uma ferramenta útil de ensino.

Visando esse propósito foi desenvolvido o aplicativo com dois *miniapps*: um para visualização dos planetas do sistema solar e um para visualização de vidrarias e instrumentos de um laboratório de química. Além disso, como não se sabia a priori o nível de ensino dos alunos que estariam presentes no evento, optou-se por desenvolver o aplicativo em português para torná-lo mais acessível.

No primeiro miniapp, denominado *Planetas*, há a possibilidade de projeção dos oito planetas do sistema solar, além da Lua e de Plutão. As estruturas a serem projetadas e os ícones dos submenus foram obtidos nos pacotes gratuitos '*Planet Icons*' e '*Planets of the Solar System*' disponíveis na Asset Store. Além disso, cada planeta tem um menu de informações PopUp com algumas curiosidades sobre eles.

As funções de rotação e zoom também estão disponíveis.

No segundo miniapp, o Laboratório de Química, há a projeção de algumas vidrarias comumente encontradas em laboratórios e até de alguns equipamentos como uma balança analítica. As estruturas 3D foram obtidas no pacote '*Chemistry Lab Items Pack*' da Asset Store, já os ícones dos submenus foram obtidos em sites de livre recursos online, como o Pixabay e o Pexels.

Nesse segundo miniapp, além das funções de rotação e zoom, algumas estruturas apresentam a possibilidade de visualização da vidraria caso ela fosse preenchida por um líquido qualquer. Para isso basta selecionar o botão "encher" no canto superior direito.

O aplicativo de visualização de zeólitas e COF foi um aplicativo desenvolvido a pedido de um professor do Instituto de Química da UFRJ para uso em seu laboratório. Nele, além da projeção das nove zeólitas principais que são projetadas no *ZeoliteApp*, porém sem adição dos oxigênios, são projetadas algumas estruturas de COFs, que é o trabalho deste laboratório em questão.

Como a representação dos COFs já era um trabalho ativo do laboratório, eles providenciaram as estruturas dos frameworks em .pdb. Foi realizada então a conversão dessas estruturas utilizando o Blender, da mesma forma como foi feito para os casos do *IsomeriaApp*. Além disso, apresentaram-se as opções de diferentes números de células unitárias para as COFs, a fim de demonstrar o quanto são estruturas complexas.

Nesse aplicativo, novamente as funções de zoom e rotação estão disponíveis para todas as estruturas. Como o aplicativo ainda está em desenvolvimento de ajustes finais, os PopUp de informações ainda não estão completos e nem todas as estruturas estão prontas.

## E.2 Apresentação dos Aplicativos

### E.2.1 *VisuApp*

Além dos dois aplicativos principais apresentados acima, foi desenvolvido um aplicativo especial para apresentação no I Congresso de Popularização da Pesquisa Científica da Escola de Química (EQPOP) que ocorreu em agosto de 2024. Este aplicativo, nomeado de *VisuAPP* (Figura E.1a), tinha por objetivo instigar os alunos de ensino médio das escolas participantes às possibilidades do uso da realidade aumentada como ferramenta de ensino.

Como o público alvo eram alunos de ensino médio de diferentes escolas, em níveis de conhecimento diferente, esse aplicativo não tinha por objetivo ensinar nenhum conteúdo, mas sim chamar a atenção e despertar o interesse dos alunos.

Portanto, ele conta com dois mini apps (Figura E.1b): um para visualização de planetas do sistema solar (Figura E.2a) e um para visualização de instrumentos e vidrarias de um laboratório de química (Figura E.2b).



(a) Página Inicial.



(b) Submenu.

Figura E.1: Aplicativo *VisuApp*.



(a) Planetas.



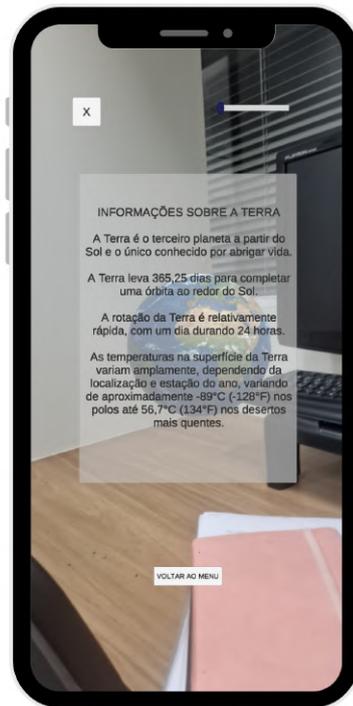
(b) Laboratório de Química.

Figura E.2: Páginas Iniciais dos MiniApps [Aplicativo *VisuApp*].

No mini app de planetas os usuários podem interagir com os planetas rotacionando-os e aplicando zoom, como mostra a Figura E.3a. Além disso, existe uma página PopUp com algumas informações interessantes sobre cada planeta (Figura E.3b). Já no mini app de instrumentos de laboratório, Figura E.4, além da interação com as estruturas, existe em certas vidrarias a opção de preenchê-las para visualizar como elas seriam com um líquido.



(a) Visualização Principal dos Planetas.



(b) Visualização do PopUp de Informações.

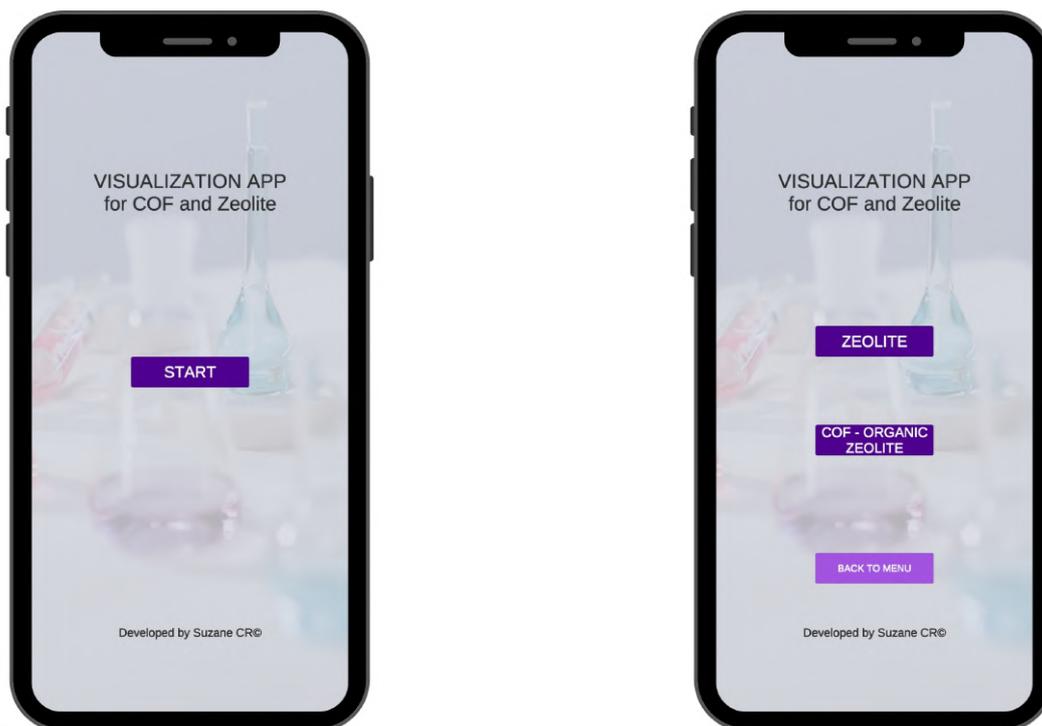
Figura E.3: Páginas de Visualização dos Planetas [Planetas - *VisuApp*].



Figura E.4: Página de Visualização dos Instrumentos e Vidrarias de Laboratório [Laboratório de Química - *VisuApp*].

## E.2.2 *VisualizationApp - COF and Zeolites*

Outro aplicativo que foi desenvolvido a pedido de um professor do Instituto de Química da UFRJ foi o aplicativo para visualização de COFs e zeólitas, nomeado *VisualizationApp - COF and Zeolites* (Figura E.5a). Este aplicativo segue o mesmo princípio do *ZeoliteApp* porém, além da projeção das zeólitas, são projetadas estruturas de COF, com isso ele apresenta dois submenus conforme a Figura E.5b.

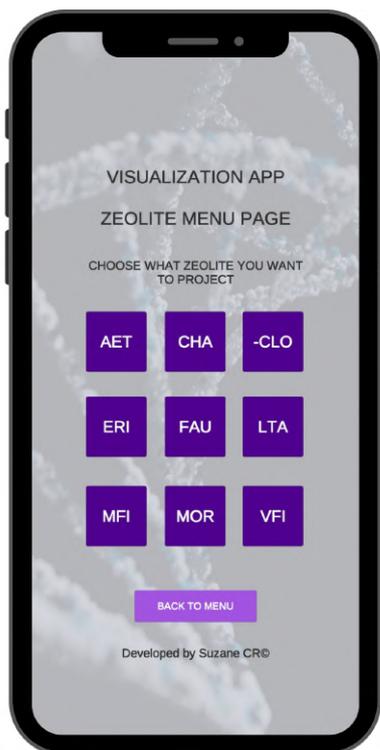


(a) Página Inicial.

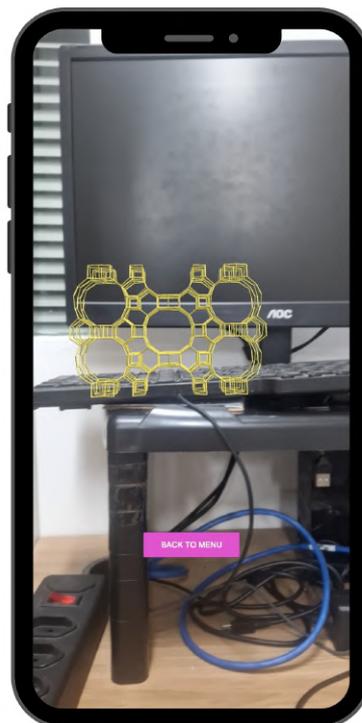
(b) Submenu.

Figura E.5: Aplicativo *VisualizationApp - COF and Zeolites*.

Para a parte de visualização das zeólitas (Figura E.6a), tem-se novamente as nove zeólitas mais comuns, porém nesse caso é apresentado apenas o *framework* simples das zeólitas, ou seja, não há a opção de adição dos átomos de oxigênio na visualização. Para rotacionar ou aplicar um zoom na estrutura basta interagir com ela (Figura E.6b).



(a) Menu das Zeólitas.



(b) Visualização das Zeólitas.

Figura E.6: Parte de Zeólitas no *VisualizationApp - COF and Zeolites*.

Para a parte de visualização das COF apresentam-se nove exemplos das estruturas, conforme mostra o menu apresentado na Figura E.7, onde a forma para interação segue o mesmo princípio da visualização das zeólitas, com a adição de um botão para alternar o número de células unitárias projetadas como demonstrado nas Figuras E.8a e E.8b.

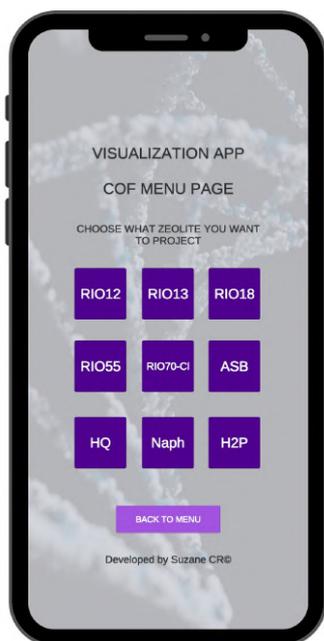


Figura E.7: Menu das COF [*VisualizationApp - COF and Zeolites*].



(a) Visualização Padrão com uma Célula Unitária.



(b) Visualização com Alteração nas Células Unitárias.

Figura E.8: Páginas de Visualização das COF [*VisualizationApp - COF and Zeolites*].