



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO UNIVERSIDADE VIRTUAL**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA EDUCACIONAL**

**GLAYLTON BATISTA DE ALMEIDA**

**APLICATIVO DE REALIDADE AUMENTADA NOS MOLDES AUSUBELIANOS**  
**PARA O ENSINO DE ORBITAIS ATÔMICOS**

**FORTALEZA**

**2023**

GLAYLTON BATISTA DE ALMEIDA

APLICATIVO DE REALIDADE AUMENTADA NOS MOLDES AUSUBELIANOS PARA  
O ENSINO DE ORBITAIS ATÔMICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Educacionais do Instituto Universidade Virtual da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Educacional. Área de concentração: Ensino de Química.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana de Lima

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A447a Almeida, Glaylton Batista de.  
Aplicativo de Realidade Aumentada nos moldes ausubelianos para o Ensino de Orbitais Atômicos /  
Glaylton Batista de Almeida. – 2023.  
121 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto UFC Virtual, Programa de Pós-  
Graduação em Tecnologia Educacional, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Profa. Dra. Luciana de Lima.

1. Aplicativo. 2. Orbitais Atômicos. 3. Química. 4. Realidade Aumentada. 5. Aprendizagem Significativa.  
I. Título.

CDD 371.33

---

GLAYLTON BATISTA DE ALMEIDA

APLICATIVO DE REALIDADE AUMENTADA NOS MOLDES AUSUBELIANOS PARA  
O ENSINO DE ORBITAIS ATÔMICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Educacionais do Instituto Universidade Virtual da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Educacional. Área de concentração: Ensino de Química.

Aprovada em 31/05/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Luciana de Lima  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Leonardo Oliveira Moreira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Thiago Henrique Barnabé Corrêa  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

---

Prof. Dr. Robson Carlos Loureiro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## RESUMO

Pesquisas têm constatado problemas no que diz respeito ao entendimento do conceito químico de Orbital Atômico, isso porque esse assunto envolve fenômenos distantes da realidade do aluno e requer uma compreensão visuoespacial de modelos abstratos, o que dificulta uma aprendizagem significativa. Uma das formas mencionadas por pesquisadores para facilitar o processo de aprendizagem desse conteúdo é o uso de tecnologias digitais, visto que possuem diversas formas de utilização, e podem motivar o aluno a fazer relações entre o assunto que se quer compreender com o que ele já possui ancorado em sua estrutura cognitiva, assim como preconiza a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Uma dessas tecnologias que possui potencial educacional é a Realidade Aumentada (RA), recurso que permite a integração entre objetos do mundo real com modelos criados em computadores. Diante disso, o presente trabalho apresenta como objetivo desenvolver e avaliar a usabilidade de um aplicativo de RA nos moldes ausubelianos sobre o conceito químico de orbitais atômicos. Para isso, foi utilizada a metodologia Recursiva de Desenvolvimento de *Softwares*. Após a implementação do aplicativo, foi iniciada uma pesquisa para validação do produto com 17 sujeitos do curso de Licenciatura em Química da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) e 17 do curso de Licenciatura em Química da Faculdade de Educação de Crateús (FAEC) por meio da utilização do aplicativo, respondendo, em seguida, a um teste de usabilidade de sistema por meio de um questionário do tipo escala Likert. Dentre os principais resultados, destaca-se um *score* 81,25, caracterizando o *software* com nota “A” e adjetivo “excelente”, estando dentro do padrão de aceitação, com *Net Promoter Score* (NPS) “promotor”, em que os sujeitos recomendariam o aplicativo para um amigo. Além disso, a partir de um questionário aplicado posteriormente à utilização do aplicativo, foi obtido um dado relevante que mostra que 94,11% dos usuários acreditam que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos, enquanto 85,3% julgam que a RA facilita no processo dessa compreensão. Diante disso, o aplicativo desenvolvido pode contribuir para o ensino dos orbitais atômicos em Química, visto que os usuários apresentaram bons resultados no questionário de aprendizagem e avaliaram o recurso positivamente. O aplicativo passará por adequações e implementações de acordo com resultados obtidos na pesquisa em sua segunda versão.

**Palavras-chave:** aplicativo; orbitais atômicos; química; realidade aumentada; aprendizagem significativa.

## ABSTRACT

Research has identified problems regarding understanding the chemical concept of Atomic Orbital, because this subject involves phenomena far from the student's reality and requires a visuospatial understanding of abstract models, which makes meaningful learning difficult. One of the ways mentioned by researchers to facilitate the learning process of this content is the use of digital technologies, since they have different ways of use, and can motivate students to make connections between the subject they want to understand with what they already have anchored in its cognitive structure, as advocated by the Meaningful Learning Theory (MLT). One of these technologies that has educational potential is Augmented Reality (AR), a feature that allows the integration of real-world objects with models created on computers. In view of this, the present work aims to develop and evaluate the usability of an AR application in the Ausubelian molds on the chemical concept of atomic orbitals. For this, the Recursive Software Development methodology was used. After the implementation of the application, research was started to validate the product with 17 subjects from the Degree in Chemistry course at Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) and 17 from the Degree in Chemistry course at Faculdade de Educação de Crateús (FAEC) using the application, then responding to a system usability test through a Likert scale questionnaire. Among the main results, a score of 81.25 stands out, characterizing the software with an "A" grade and the adjective "excellent", being within the acceptance standard, with a *Net Promoter Score* (NPS) "promoter", in which the subjects would recommend the application to a friend. In addition, from a questionnaire applied after using the app, relevant data was obtained that shows that 94.11% of users believe that the application helps to understand what atomic orbitals are, while 85.3% believe that the RA facilitates in the process of this understanding. In view of this, the developed application can contribute to the teaching of atomic orbitals in Chemistry, since users presented good results in the learning questionnaire and evaluated the resource positively. The application will undergo adaptations and implementations according to the results obtained in the research its second version.

**Keywords:** application; atomic orbitals; chemistry; augmented reality; meaningful learning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação de superfícies limite de dois Orbitais Atômicos do tipo $d$ .....	17
Figura 2 - Equação de Schrödinger .....	25
Figura 3 - Distribuição de densidade .....	26
Figura 4 - Superfície limite de um orbital $s$ .....	28
Figura 5 - Superfícies limites dos três orbitais $p$ .....	28
Figura 6 - Superfícies limites de orbitais tipo $d$ .....	29
Figura 7 - Superfícies limites de orbitais tipo $f$ .....	29
Figura 8 - Orbitais tipo $p$ , coleção aprovada no PNLD 2021 .....	31
Figura 9 - Diagrama de fluxos da Metodologia Recursiva de desenvolvimento de <i>software</i> .....	42
Figura 10 - Mapa conceitual sobre orbital com termos ausentes .....	44
Figura 11 - Conceitos estruturantes para o entendimento dos Orbitais Atômicos .....	44
Figura 12 - <i>System Usability Scale</i> .....	46
Figura 13 - Processo de desenvolvimento e evolução de <i>software</i> .....	47
Figura 14 - Diagrama de fluxos das telas do aplicativo .....	49
Figura 15 - Prototipagem das telas da diferenciação progressiva .....	50
Figura 16 - <i>Target</i> de um orbital do tipo $d$ para o reconhecimento do <i>software</i> .....	50
Figura 17 - Modelagem do Orbital $dz^2$ no <i>Blender</i> .....	51
Figura 18 - Menu inicial do aplicativo desenvolvido no <i>Unity</i> .....	52
Figura 19 - Botão “Conhecimentos Prévios” .....	52
Figura 20 - Botão “Organizadores Prévios” .....	53
Figura 21 - Botão “Diferenciação Progressiva” .....	54
Figura 22 - Orbitais em RA na “Diferenciação Progressiva” .....	55
Figura 23 - Botão “Reconciliação Integradora” .....	55
Figura 24 - Botão “Organização Sequencial” .....	56
Figura 25 - Botão “Consolidação” .....	57
Figura 26 - Botão “MODO LIVRE” .....	58
Figura 27 - Botão “SOBRE” .....	59
Figura 28 - Botão “BAIXAR TARGETS” .....	59
Figura 29 - Orbital $s$ .....	67
Figura 30 - Orbital $p$ .....	67
Figura 31 - Orbital $d$ .....	67





## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Pontuação SUS afirmativas individuais (FAEC) .....	73
Gráfico 2 - Nota, adjetivo, aceitabilidade e categorias NPS associadas a pontuações brutas do SUS (FAEC) .....	75
Gráfico 3 - Pontuação SUS afirmativas individuais (UVA) .....	83
Gráfico 4 - Nota, adjetivo, aceitabilidade e categorias NPS associadas a pontuações brutas do SUS (UVA) .....	85
Gráfico 5 - Nota, adjetivo, aceitabilidade e categorias NPS associadas a pontuações brutas do SUS (Geral) .....	94
Gráfico 6 - Comparação pontuação SUS afirmativas individuais .....	97

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tecnologias e suas potenciais vantagens ao ensinar Orbitais Atômicos .....	32
Quadro 2 - Artigos analisados na revisão sistemática da literatura .....	37
Quadro 3 - Conceituação de Realidade Aumentada segundo os sujeitos da instituição I (FAEC) .....	70
Quadro 4 - Conceituação de Orbital Atômico segundo os sujeitos da instituição I (FAEC) .....	71
Quadro 5 - Comentários a respeito do aplicativo, Instituição I (FAEC) .....	76
Quadro 6 - Conceituação de Realidade Aumentada segundo os sujeitos da instituição II (UVA) .....	81
Quadro 7 - Definição de Orbital Atômico segundo os sujeitos da instituição II (UVA) ..	82
Quadro 8 - Comentários a respeito do aplicativo, Instituição II (UVA) .....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Relação entre números quânticos .....	27
Tabela 2 -	Configurações eletrônicas do lítio ao sódio .....	31
Tabela 3 -	Dados demográficos (FAEC) .....	69
Tabela 4 -	Conhecimentos prévios RA e Orbital Atômico (FAEC) .....	69
Tabela 5 -	Percentual afirmativas positivas e negativas (FAEC) .....	74
Tabela 6 -	Questionário de aprendizagem (FAEC) .....	77
Tabela 7 -	Dados demográficos (UVA) .....	80
Tabela 8 -	Conhecimentos prévios RA e Orbital Atômico (UVA) .....	81
Tabela 9 -	Percentual afirmativas positivas e negativas (UVA) .....	84
Tabela 10 -	Questionário de aprendizagem (UVA) .....	87
Tabela 11 -	Dados demográficos (Geral) .....	90
Tabela 12 -	Conhecimentos prévios RA e Orbital Atômico (Geral) .....	90
Tabela 13	Percentual afirmativas positivas e negativas (Geral) .....	91
Tabela 14	Análise do aplicativo OrbiTAS a partir do SUS (Geral) .....	92
Tabela 15	Questionário de aprendizagem (Geral) .....	94

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três dimensões
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CNS	Conselho Nacional de Saúde
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
DOI	<i>Digital Object Identifier</i>
ENADE	Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes
FAEC	Faculdade de Educação de Crateús
Gb	<i>Gigabyte</i>
GEFEQ	Grupo de Estudos sobre a Formação de Educadores Químicos
IFCE	Instituto Federal do Ceará
LED	<i>Light emitter diode</i>
MB	<i>Megabyte</i>
MS	Ministério da Saúde
NPS	<i>Net Promoter Score</i>
PIBID	Programa de Bolsas de Iniciação à Docência
PNLD	Plano Nacional do Livro e do Material Didático
PPGTE	Programa de Pós-graduação em Tecnologia Educacional
RA	Realidade Aumentada
REDEQUIM	Revista Debates em Ensino de Química
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
RV	Realidade Virtual
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
SUS	<i>System Usability Scale</i>
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TLV	Teoria da Ligação de Valência
TOM	Teoria do Orbital Molecular
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UVA	Universidade Estadual Vale do Acaraú

VSEPR

*Valence Shell Electron Pair Repulsion*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	20
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	23
<b>3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	23
<b>3.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	23
<b>4</b>	<b>ORBITAIS ATÔMICOS: CONCEITUAÇÃO, TIPOLOGIAS E ENSINO</b>	24
<b>4.1</b>	<b>O conceito de Orbital</b> .....	24
<b>4.2</b>	<b>A classificação dos orbitais</b> .....	27
<b>4.2.1</b>	<i>Orbitais s</i> .....	28
<b>4.2.2</b>	<i>Orbitais p</i> .....	28
<b>4.2.3</b>	<i>Orbitais d</i> .....	29
<b>4.2.4</b>	<i>Orbitais f</i> .....	29
<b>4.3</b>	<b>O ensino de orbitais</b> .....	30
<b>5</b>	<b>TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, REALIDADE AUMENTADA E A RELAÇÃO ENTRE TAS E RA</b> .....	34
<b>5.1</b>	<b>Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel</b> .....	34
<b>5.2</b>	<b>Realidade Aumentada</b> .....	38
<b>5.3</b>	<b>A relação entre a TAS e a RA</b> .....	39
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	41
<b>7</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	48
<b>7.1</b>	<b>Desenvolvimento do diagrama de fluxos, planejamento, layout, e implementação das telas do aplicativo OrbiTAS</b> .....	48
<b>7.2</b>	<b>Elaboração da documentação do software educacional</b> .....	60
<b>7.2.1</b>	<i>Ficha técnica do produto / Características do hardware necessárias</i> .....	60
<b>7.2.2</b>	<i>Guia de apoio pedagógico ao professor</i> .....	61
<b>7.2.2.1</b>	<i>Introdução</i> .....	61
<b>7.2.2.2</b>	<i>Objetivos educacionais</i> .....	62
<b>7.2.2.3</b>	<i>Teoria pedagógica embasadora</i> .....	62
<b>7.2.2.4</b>	<i>Sugestões para atividades pedagógicas</i> .....	65
<b>7.2.3</b>	<i>Manual de instruções para o aluno</i> .....	66
<b>7.3</b>	<b>Utilização, avaliação e manutenção do software educacional</b> .....	68
<b>7.3.1</b>	<i>Resultados da Instituição 1 (FAEC/UECE)</i> .....	69

7.3.2	<i>Resultados da Instituição II (UVA)</i> .....	80
7.3.3	<i>Resultado geral das duas Instituições (FAEC e UVA)</i> .....	89
7.3.4	<i>Análise Comparativa dos Resultados</i> .....	96
8	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	101
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	103
	<b>APÊNDICE A – QR CODE DOWNLOAD DO APLICATIVO E ACESSO AO SITE</b> .....	109
	<b>APÊNDICE B – TARGETS PARA A VISUALIZAÇÃO EM RA</b> .....	110
	<b>APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)</b> .....	112
	<b>APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (no caso de menor)</b> .....	114
	<b>APÊNDICE E – TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (no caso do menor)</b> .....	116
	<b>ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP</b> .....	118
	<b>ANEXO B – PROGRAMA DA DISCIPLINA QUÍMICA GERAL I (FAEC)</b> .....	121
	<b>ANEXO C – PROGRAMA DA DISCIPLINA DE FUNDAMENTOS DE QUÍMICA I (UVA)</b> .....	122

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata do desenvolvimento de um aplicativo com tecnologia de RA para o ensino do tópico Orbitais Atômicos da disciplina de Química, fundamentado na TAS, proposta pela primeira vez pelo pesquisador norte americano David Paul Ausubel em 1963. De início, são externadas informações a partir de um apanhado cronológico, contextualizando a proximidade do pesquisador com o tema de pesquisa. Na sequência, é apresentado um referencial de acordo com vários teóricos com a finalidade de apresentar o problema da pesquisa, a partir dos entraves que envolvem a temática, justificando o desenvolvimento do produto tecnológico desta dissertação.

O pesquisador do referido trabalho desde sempre foi um estudante apaixonado por ciências, e dentro das oportunidades viáveis na época de conclusão do Ensino Médio estava o curso de Licenciatura em Química, o qual foi aprovado por meio do vestibular tradicional da Universidade Estadual do Ceará (UECE). Ao longo do curso foi perdendo a empolgação que tinha outrora ao perceber que, na verdade, estaria sendo formado para atuar como professor, e não como cientista de laboratório que tanto idealizava.

No entanto, a partir do primeiro contato com alunos do Ensino Médio, como bolsista do Programa de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), antes mesmo da disciplina de estágio, despertou uma paixão pela docência, isso porque nessa experiência, os bolsistas trabalhavam com ações diferenciadas daquele ensino tradicional no qual estava inserido ao longo da sua formação na educação básica.

Uma dificuldade que o pesquisador possuía no Ensino Médio e que também conseguia perceber nos alunos era quando se trabalhava com assuntos abstratos da química que envolvem o seu entendimento submicroscópico, como por exemplo, os modelos atômicos e a geometria das moléculas. No entanto, visualizava nas tecnologias digitais uma forma de tornar esses assuntos mais perceptíveis. Dessa forma, em seu trabalho de conclusão de curso desenvolveu uma proposta para o ensino de geometria molecular a partir de “hologramas”, utilizando materiais de fácil acesso (ALMEIDA; LIMA, 2020).

No curso de especialização em Ensino de Ciências da Natureza e Matemática no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), continuou estudando sobre o uso de tecnologias no ensino de Química, especificamente *softwares* de simulação. Como conclusão, foi desenvolvido um artigo em que são apresentados os resultados de um minicurso com abordagens metodológicas utilizando simulações computacionais com estudantes de um curso de Licenciatura em Química (ALMEIDA; RONALDO; SÁ, 2021).



Um dos tópicos abstratos que o pesquisador apresentava dificuldades de compreensão na época da graduação era o de Orbitais Atômicos, tanto pela forma como era abordado, como também por não possuir conhecimentos prévios necessários que deveriam ter sido obtidos no Ensino Médio sobre o assunto.

Vários teóricos relatam dificuldades apresentadas por alunos no que diz respeito ao entendimento do conceito de Orbitais Atômicos (TABER, 2004; TSARPARLIS; PAPAPHOTS, 2009; AUTSCHBACH, 2012; LIMA, 2018). Os problemas vão desde uma confusão com o termo “órbita” oriundo de conceitos do modelo atômico proposto por Rutherford em 1911, conhecido pela analogia ao sistema solar, até uma falsa ideia de que orbitais são objetos reais.

Em análise do Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE) de 2017, aplicado nos cursos de Licenciatura em Química brasileiros, verificou-se um elevado *déficit* no que diz respeito ao êxito em questões que envolvem o entendimento dos orbitais. Em uma delas (Questão 9), abrangia o assunto de hibridização de orbitais, e na outra (Questão 30), trabalhava a interpretação do conceito do Princípio da Incerteza de Heisenberg. De acordo com o relatório síntese de área de 2017, a questão 9 foi caracterizada pelos respondentes como “muito difícil”, enquanto a questão 30 foi considerada de nível “médio”, o que pôde ser comprovado ao analisar a porcentagem de acertos dos alunos nessas questões.

Taber (2004) destaca que outro entrave no que diz respeito à aprendizagem deste tópico é que, o mundo atômico parece estar totalmente distinto do mundo macroscópico que é familiar ao aluno. Dessa forma, o que se tenta compreender não faz relações diretas com o cotidiano do aluno, não havendo uma bagagem de conhecimentos prévios que possam ser utilizados como pilares construtivos de aprendizagem. O autor também destaca que o tema em questão pode ser estudado tanto em Química quanto em Física de forma fragmentada, o que pode gerar perspectivas diferentes resultando em possíveis problemas de aprendizagem.

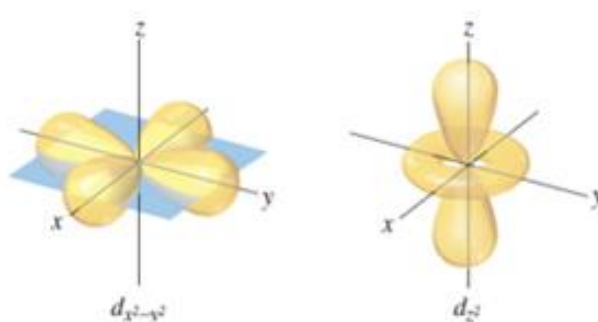
Essas problemáticas vão ao encontro do que destaca Johnstone (2000) em seu trabalho “*Teaching of chemistry: logical or psychological?*” no qual destaca os componentes básicos para a compreensão de conceitos em química, o entendimento macroscópico, o submicroscópico e o representacional. Para o autor, uma das dificuldades está relacionada ao fato de o ensino dessa ciência priorizar dois desses componentes, o macroscópico que está relacionado com os fenômenos observáveis, e o representacional que é a linguagem própria da química, símbolos e equações, por exemplo, deixando de lado a compreensão submicroscópica, na qual se desenvolve a manipulação mental de fenômenos abstratos.

Para Johnstone (2000), esses três componentes são considerados vértices de um triângulo e nenhum deles deveria ser superior ao outro, dessa forma, o entendimento de conceitos químicos deveria passar por esses três níveis, em uma reação química por exemplo, visualizar a sua ocorrência (macro), compreender em escala molecular como a reação ocorre (submicroscópico) e conseguir representá-la por meio de uma equação química (representacional).

Lima (2018) destaca que uma problemática que envolve a aprendizagem de orbital atômico é o fato de o assunto possuir dois conceitos, um matemático e um físico-químico. A definição matemática considera o orbital como uma função de onda de um elétron, derivada da resolução da equação de Schrödinger, já o conceito físico-químico trata o orbital como uma região espacial de probabilidade de se encontrar elétron(s) em torno do núcleo atômico (LIMA, 2018). Vale ressaltar que ambos os conceitos possuem o mesmo peso e cabe ao professor e ao estudante de química se apropriar desse conhecimento e conseguir aplicá-lo.

Atkins, Jones e Laverman (2018) sugerem que para escrever o formato de um orbital é “necessário especificar a localização de cada ponto em torno de um núcleo e atribuir o valor de uma função de onda a este ponto” (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018, p.31), essas localizações são chamadas de coordenadas polares esféricas. Porém, o elevado nível de abstração garante outra dificuldade para se compreender esse tópico, já que é necessário visualizar a densidade de probabilidade em três dimensões em torno do núcleo (Figura 1).

Figura 1 - Representação de superfícies limite de dois Orbitais Atômicos do tipo  $d$



Fonte: adaptado de Brown *et al.* (2016, p.245).

Assim como afirma Duarte (2000), a Química, como qualquer uma das demais Ciências da Natureza, ou qualquer fenômeno do mundo real, possui a presença da Matemática, mesmo que implícita e invisível. A exigência de um razoável conhecimento de matemática para a compreensão da disposição sob os eixos do plano propicia outro entrave para o entendimento deste tópico. Além disso, a definição matemática para orbital, simplificada aqui, engloba uma

profunda aplicação de cálculo diferencial e integral, configurando outra dificuldade apresentada pelos discentes, “um grande número deles (alunos) revelam grandes dificuldades em aprender o que quer que seja ligado a matemática” (DUARTE, 2000, p. 90).

Trindade, Kirner e Fiolhais (2004), após realizarem uma análise de várias pesquisas com estudantes de nível médio e superior, concluíram que outro problema imposto por esse tópico é o fato de os livros didáticos trazerem modelos bidimensionais para representar formas tridimensionais, sendo necessário que o aluno possua uma certa capacidade de visualização espacial.

Para Allred e Bretz (2019), se os alunos interpretarem mal essas representações dos livros didáticos com base em seus conhecimentos prévios, terão dificuldades em compreender a estrutura eletrônica do átomo.

Diante do exposto, foi desenvolvido como produto final do trabalho, um recurso que abrange os três vértices do triângulo proposto por Johnstone, visto que, será possível “visualizar” macroscopicamente um fenômeno submicroscópico (os orbitais), e também representá-los a partir da nomenclatura específica da química.

Este produto trata-se, portanto, de um aplicativo com elementos de RA para dispositivos *Android* capaz de auxiliar na visualização espacial e no entendimento dos Orbitais Atômicos, podendo proporcionar uma aprendizagem significativa deste tópico, necessário para a compreensão da estrutura da matéria.

Para isso, aplica-se a Metodologia Recursiva de Produção de *Softwares*, que requisita as etapas de planejamento, na qual é realizada a escolha dos conteúdos estruturantes do tema central, desenvolvimento e avaliação, que terão como pressupostos basilares os Princípios Programáticos da TAS de Ausubel para a produção, implementação e avaliação das telas do *software*.

Além desta introdução, o presente trabalho está organizado em outras oito seções. Na segunda seção, é apresentada a justificativa para o trabalho, na qual utiliza-se da tecnologia de RA e da TAS como suporte ao entendimento dos Orbitais Atômicos. Na terceira, são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho.

Nas seções quatro e cinco, são apresentados os pressupostos teóricos que fundamentam o trabalho. No primeiro (seção 4), é realizada uma construção histórica da temática dos orbitais, até a forma como é ensinado nas escolas e universidades. O segundo capítulo teórico (seção 5) discute a TAS e a RA, estabelecendo relações entre os dois temas.

Na sexta seção é apresentada a metodologia para o desenvolvimento do trabalho e na sétima são apresentados os resultados e discussões da pesquisa, desde o planejamento do

desenvolvimento do *software* aos resultados das aplicações dos questionários com os sujeitos da pesquisa. Na oitava seção são feitas as considerações finais do trabalho, e por fim, são apresentadas as referências, seguidas de apêndices e anexos.

## 2 JUSTIFICATIVA

Dickmann *et al.* (2019), em um estudo buscando as relações entre a compreensão visual de modelos e o sucesso acadêmico em Química, destacam que a habilidade visuoespacial é um pré-requisito para a aprendizagem bem sucedida nessa ciência, por ser um artifício mediador entre os conhecimentos prévios do aluno e o assunto a ser compreendido.

Gilbert, Reiner e Nakhleh (2008) conceituam a visualização como uma construção interna a partir de representações físicas, utilizada para o entendimento de um conceito abstrato, sendo bastante recorrente em Química para a compreensão de modelos já consolidados ou para aprender novos modelos.

Uma das formas citadas por muitos pesquisadores para reduzir o nível de abstração é o uso de tecnologias digitais, que segundo Bacich, Tanzi Neto e Trevisani (2015) têm fundamental importância na aprendizagem, pois modificam o meio no qual estão inseridas e são capazes de personalizar a forma de ensino tornando-o mais significativo.

Uma aplicação dessas tecnologias é a RA, que segundo Queiroz, Oliveira e Rezende (2015), pode ser configurada como uma ferramenta de grande ajuda em sala de aula por sua capacidade de tornar os objetos de estudo mais concretos, por meio de simulações que suplementam o mundo real com objetos virtuais. Ainda de acordo com os autores, essa aproximação que a tecnologia digital propicia, permite ao aluno desenvolver habilidades investigativas, capacidade de levantar hipóteses, formular explicações e relacioná-las com conceitos vinculados à disciplina estudada.

Em uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) realizada sobre a temática de RA e Realidade Virtual (RV), foi compreendido que essas tecnologias se apresentam como ferramentas com potencial para o ensino de conceitos abstratos, favorecendo a aprendizagem de ciências como a Química, que muitas vezes exigem do aluno uma capacidade de construção e manipulação de modelos mentais. Outro achado promissor é o de que a RA e a RV geram maior engajamento e participação dos discentes no processo de ensino-aprendizagem.

Em contrapartida, de acordo Ausubel (2003), aprender de forma significativa é importante porque torna mais fácil para o aluno reter informações em sua estrutura cognitiva quando ancora um novo conhecimento a um conhecimento já existente. Dessa forma, quando o aluno identifica conexões entre as novas informações com as que já possui encontra sentido e significado no que é estudado.

Ao pensar nos conhecimentos prévios importantes que os estudantes devem possuir para a compreensão do conceito de orbital aponta-se o trabalho de Lima (2018), que destaca

como relevante o entendimento de: “quantum de uma grandeza, natureza dual da matéria e da radiação, o átomo como estrutura, movimento eletrônico sem trajetórias determinadas, interpretação probabilística da função de onda e números quânticos.” (LIMA, 2018, p. 42).

De acordo com Tavares (2008), quando o aluno assimila novas informações de maneira literal sem realizar associações com o que já possui em sua estrutura cognitiva, haverá apenas uma reprodução do que lhe foi repassado e sua aprendizagem será mecânica. “[...] uma aprendizagem significativa não acontece apenas a retenção da estrutura do conhecimento, mas se desenvolve a capacidade de transferir esse conhecimento para a sua possível utilização em um contexto diferente daquele em que ela se concretizou.” (TAVARES, 2008, p. 95).

Para Ausubel (2003), a aprendizagem significativa se torna eficaz pelas circunstâncias de sua não arbitrariedade e por seu caráter não-literal. A primeira significa que a informação prévia do aprendente deve ser relevante para a integração com a nova informação, e a não literalidade refere-se que a aprendizagem não depende especificamente da forma como foi ensinada, ao “pé da letra”.

Outro fator importante destacado pelo autor para que a aprendizagem se torne significativa é a predisposição do estudante pelo objeto de estudo, que haja um esforço de sua parte em fazer relações das novas informações aos conhecimentos relevantes de sua estrutura cognitiva.

Pazicni e Flynn (2019) destacam que, dos três fatores necessários para que se construa uma aprendizagem significativa, dois deles são inerentes ao aluno, seus conhecimentos prévios e a sua propensão em fazer conexões com seus conhecimentos prévios. Restando ao professor somente uma única variável do processo, a maneira pela qual as novas informações são repassadas ou são construídas.

Compreende-se que a utilização de novas metodologias de ensino amparadas em teorias de aprendizagem e pelo uso das tecnologias digitais, como a RA, podem se configurar como uma importante forma de motivar e engajar os alunos no processo de aprendizagem.

Dessa forma, questiona-se de que maneira é possível integrar a RA em uma abordagem ausubeliana para o ensino de conceitos químicos, como o conceito de Orbital Atômico?

Em uma RSL desenvolvida, ao verificar se os trabalhos de RA e RV utilizavam teorias da aprendizagem em sua estrutura, apenas um dos produtos dizia se basear na TAS, porém não é demonstrada de forma clara de que maneira essa associação foi realizada.

Em outra RSL realizada sobre o ensino de orbitais atômicos no período de 2015 a 2022, Almeida, Lima e Barros Filho (2023) constataram que os trabalhos realizados envolvendo

essa temática não trazem relação com a teoria da aprendizagem significativa. O que pode estar relacionado com a dificuldade do aluno em conectar conhecimentos prévios ao conceito de orbital.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Desenvolver um aplicativo de RA que proporcione uma aprendizagem significativa nos moldes ausubelianos sobre o conceito químico de orbitais atômicos.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Identificar os conceitos estruturantes vinculados ao conceito químico de orbital;

Realizar um estudo de viabilidade tecnológica para o desenvolvimento do *software*;

Implementar as telas e funções do aplicativo de RA pautadas nos moldes ausubelianos da aprendizagem significativa;

Avaliar a usabilidade do aplicativo de RA produzido com dois grupos de alunos do curso de Licenciatura em Química.



## 4 ORBITAIS ATÔMICOS: CONCEITUAÇÃO, TIPOLOGIAS E ENSINO

A presente seção foi dividida em três subseções. Na primeira, é realizada a construção histórica do conceito de orbital à luz de vários autores. Na segunda, são descritos os números quânticos, os tipos de orbitais e suas respectivas particularidades; e na terceira, é realizada uma discussão sobre o ensino deste tópico em salas de aula.

### 4.1 O conceito de Orbital

De acordo com Lima (2018), a partir de uma análise detalhada da evolução da mecânica quântica, é possível conceituar os orbitais de duas formas. Em uma dessas interpretações, os orbitais podem ser compreendidos como funções de onda monoelétrica, obtidos a partir da resolução da equação de Schrödinger para um átomo. Em outra interpretação, os orbitais são conceituados como regiões no espaço com elevada probabilidade de densidade eletrônica em torno do núcleo atômico.

Miessler, Fischer e Tarr (2014) tratam orbitais como regiões espaciais que definem a possível probabilidade de localização de elétrons. Uma consequência da interpretação do princípio da incerteza de Heisenberg, que afirma que é impossível determinar a localização e o momento de um elétron simultaneamente, diferentemente do modelo proposto por Niels Bohr em 1913, no qual os elétrons possuíam uma posição definida em órbitas em torno do núcleo atômico (MIESSLER; FISCHER; TARR, 2014).

Segundo Mortimer *et al.* (2020), a principal diferença entre o modelo atômico proposto por Bohr e o modelo atômico atual é que o primeiro ainda era descrito por teorias clássicas da física, sendo passível de analogias concretas do nosso cotidiano, já o modelo atual, baseado na Mecânica Quântica, dificilmente pode ser representado por analogias, uma vez que, o comportamento submicroscópico das partículas é totalmente distinto dos fenômenos macroscópicos.

Ainda de acordo com Mortimer *et al.* (2020), quando Bohr propôs seu modelo para o átomo, já se compreendia a natureza dual da luz, ideia pela qual a luz teria comportamento tanto de onda quanto de partícula. Partindo desse pressuposto, Louis de Broglie sugeriu a expansão da ideia de dualidade para elétrons, visto que, alguns fenômenos são melhores descritos com os elétrons apresentando caráter de partículas, já outros considerando elétrons como ondas.

Dessa forma, foi necessário considerar as propriedades ondulatórias dos elétrons e não mais tratá-los apenas como partículas. Assim, em 1926 Erwin Schrödinger publica um artigo discorrendo da mecânica ondulatória dos elétrons (Quantização como um problema de valores próprios) por meio de uma equação que descreve as propriedades de onda dessas partículas no espaço.

Figura 2 - Equação de Schrödinger

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + (E_p - E)\psi = 0$$

Fonte: adaptado de Schrödinger (1926)

Em que:

$\hbar$  = constante de Planck dividida por  $2\pi$

$m$  = massa da partícula

$\nabla$  = operador Laplaciano

$\psi$  = função de onda

$E_p$  = energia potencial da partícula

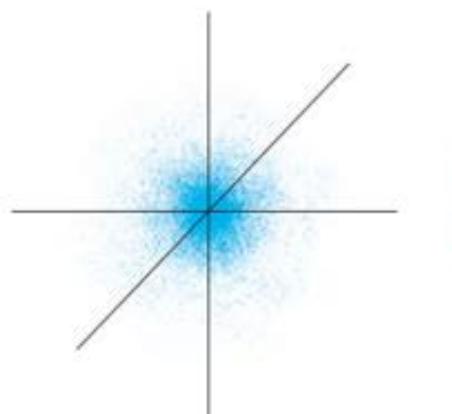
$E$  = energia total da partícula.

Segundo Baptista (2013), interpretar o significado físico de equações matemáticas provenientes da Mecânica Quântica é uma tarefa muito difícil, até mesmo para os cientistas, que precisam tornar suas descobertas acessíveis a quem não possui conhecimento profundo em matemática, dessa forma, alguns recursos muito utilizados para facilitar a compreensão desses tópicos é a utilização de representações por imagens, analogias e gráficos.

Assim, de acordo com Pereira *et al.* (2017), a solução da equação de Schrödinger aliada ao princípio da incerteza proposto por Heisenberg constroem o conceito de orbital, que pode ser resumido em uma função de onda espacial de um elétron, que descreve uma probabilidade de distribuição de densidade eletrônica com energias e formas intrínsecas.

De acordo com Brown *et al.* (2016), apesar de a função de onda ( $\Psi$ ) não apresentar nenhum significado físico de forma direta, o quadrado da função de onda ( $\Psi^2$ ) fornece informações sobre a posição do elétron, por isso  $\Psi^2$  também pode ser chamado de densidade de probabilidade (Figura 3), na qual a região em que há maior densidade da cor azul apresenta maior valor de  $\Psi^2$  e, portanto, maior probabilidade de encontrar elétrons em torno do ponto central (núcleo do átomo).

Figura 3 - Distribuição de densidade eletrônica



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

De acordo com McMurry (2013), quando a função de onda ao quadrado é determinada é descrito o volume espacial de densidade de probabilidade eletrônica em torno do núcleo do átomo, dessa forma, é possível “pensar o orbital como uma fotografia do elétron sendo tirada a uma velocidade lenta do obturador da câmera” (MCMURRY, 2013, p. 4), dessa forma o orbital apareceria como uma nuvem descrevendo os locais em que o elétron esteve em torno do núcleo.

É válido ressaltar, segundo McQuarrie (2008), que a resolução da equação de Schrödinger se aplica apenas ao átomo de hidrogênio, para átomos que possuem mais de um elétron as soluções são apenas aproximações.

As funções de onda dependem de três coordenadas cartesianas  $x$ ,  $y$ , e  $z$  ou coordenadas esféricas, função radial ( $r$ ) e funções angulares  $\theta$ ,  $\Phi$ , que definem uma região no espaço, posteriormente, estabelecidos por Mulliken (1932) como orbitais atômicos, “por orbital atômico entende-se um orbital correspondente ao movimento de um elétron no campo de um único núcleo mais outros elétrons [...]” (MULLIKEN, 1932, p. 50).

De forma simplificada, os elétrons podem ser descritos utilizando quatro números quânticos, conhecidos como número quântico principal ( $n$ ), número quântico do momento angular ( $l$ ) definido por  $n - 1$ , número quântico magnético ( $m_l$ ) e o *spin* ( $m_s$ ). O primeiro refere-se à energia do elétron no orbital, quanto maior o valor de  $n$ , mais alta a energia. o segundo à região espacial com maior probabilidade de se encontrar o elétron, o formato adquirido pelo orbital, o terceiro fornece a orientação espacial e o último indica a rotação do elétron que pode apresentar valores de  $-1/2$  ou  $+1/2$ .

Em seu estudo, Mulliken (1932) também definiu que cada orbital pode ser ocupado por até dois elétrons, desde que tenham *spin* contrários, podendo ser combinados, sobrepostos ou compartilháveis entre dois átomos formando orbitais moleculares.

## 4.2 A classificação dos orbitais

O conjunto de funções de onda que são obtidas a partir da resolução da equação de Schrödinger descrevem os formatos e tamanhos de cada orbital, também conhecidos como superfície limite, que podem ser divididos em orbitais do tipo, *s*, *p*, *d* e *f*, quando o número quântico *l* tiver valores 0, 1, 2 e 3, respectivamente. Essas letras possuem uma origem histórica referentes às linhas do espectro para o átomo de sódio, sendo *s* derivado de *sharp*, *p* de *principal*, *d* de *diffuse* e *f* de *fundamental* (MCQUARRIE; SIMON; 1997).

De acordo com McQuarrie e Simon (1997), quando uma função de onda apresentar número quântico principal igual a um ( $n = 1$ ) e número quântico do momento angular igual a zero ( $l = 0$ ), a função de onda será chamada de 1s, já para  $n = 2$  e  $l = 0$  teremos o 2s e assim sucessivamente. Já o  $m_l$  deriva da equação  $2l + 1$  e pode ter valores de  $-l$  e  $l$ , incluindo o 0, por exemplo, para  $l = 0$ ,  $m_l$  será igual a 0, para  $l = 1$ ,  $m_l$  pode assumir valores  $-1$ , 0 ou  $+1$  (Tabela 1).

Tabela 1 - Relação entre números quânticos

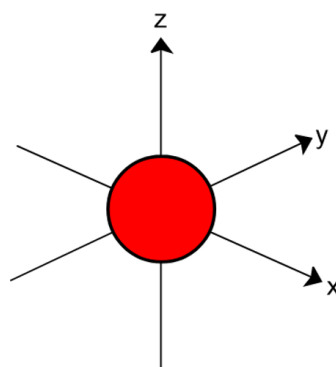
<i>N</i>	Possíveis valores de <i>l</i>	Designação da subcamada	Possíveis valores de $m_l$	Número de orbitais na subcamada	Número total de orbitais na camada
1	0	1s	0	1	1
2	0	2s	0	1	4
	1	2p	1, 0, -1	3	
3	0	3s	0	1	9
	1	3p	1, 0, -1	3	
	2	3d	2, 1, 0, -1, -2	5	
4	0	4s	0	1	16
	1	4p	1, 0, -1	3	
	2	4d	2, 1, 0, -1, -2	5	
	3	4f	3, 2, 1, 0, -1, -2, -3	7	

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

### 4.2.1 Orbitais $s$

São orbitais que apresentam o número quântico  $l = 0$ , e  $m_l = 0$  como sendo seu único valor possível. Esses orbitais apresentam formato esférico e variam de tamanho e energia de acordo com o valor do número quântico principal (Figura 4).

Figura 4 - Superfície limite de um orbital  $s$

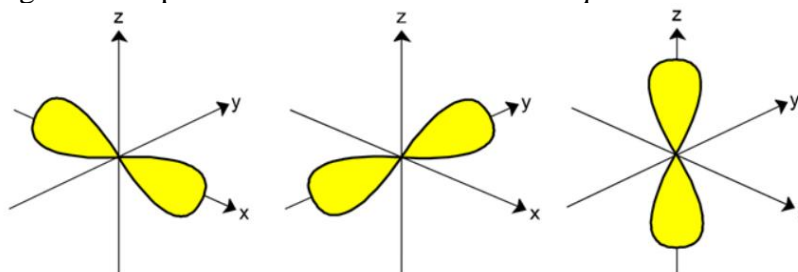


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

### 4.2.2 Orbitais $p$

Os orbitais do tipo  $p$  apresentam  $l = 1$ , e, portanto, três valores possíveis para  $m_l$ , -1, 0 e 1, esses orbitais são costumeiramente conhecidos como  $p_x$ ,  $p_y$  e  $p_z$  (Figura 5) e são ortogonais entre si. A densidade eletrônica desses orbitais está concentrada em duas regiões em lados opostos ao núcleo (origem dos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ ), e apresentam a forma de halteres, possuindo dois lóbulos ao longo do eixo correspondente.

Figura 5 - Superfícies limites dos três orbitais  $p$

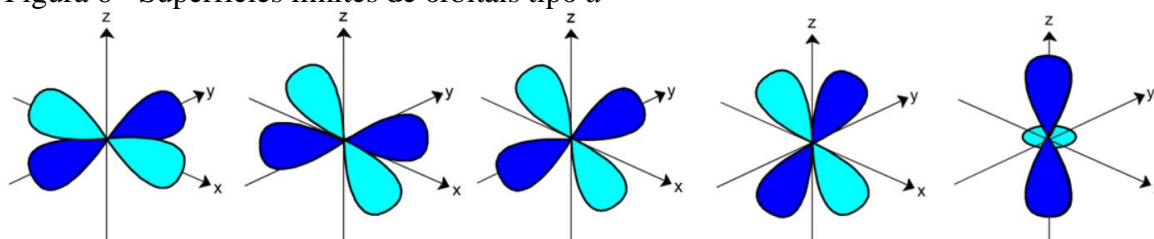


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

### 4.2.3 Orbitais $d$

Esses orbitais apresentam  $l = 2$ , quatro das superfícies limites dos orbitais  $d$  têm formato de “trevo de quatro folhas” e cada uma se encontra principalmente em um plano (Brown *et al.*, 2016). O  $d_{xy}$ ,  $d_{xz}$  e  $d_{yz}$ , situam-se nos planos  $xy$ ,  $xz$  e  $yz$ , respectivamente, como os lóbulos orientados entre os eixos. Os lóbulos do orbital  $d_{x^2-y^2}$  também se situam no plano  $xy$ , mas os lóbulos localizam-se ao longo dos eixos. O orbital  $d_{z^2}$  é um pouco diferente, pois possui dois lóbulos ao longo do eixo  $z$ , além de uma espécie de disco no plano  $xy$  (Figura 6).

Figura 6 - Superfícies limites de orbitais tipo  $d$

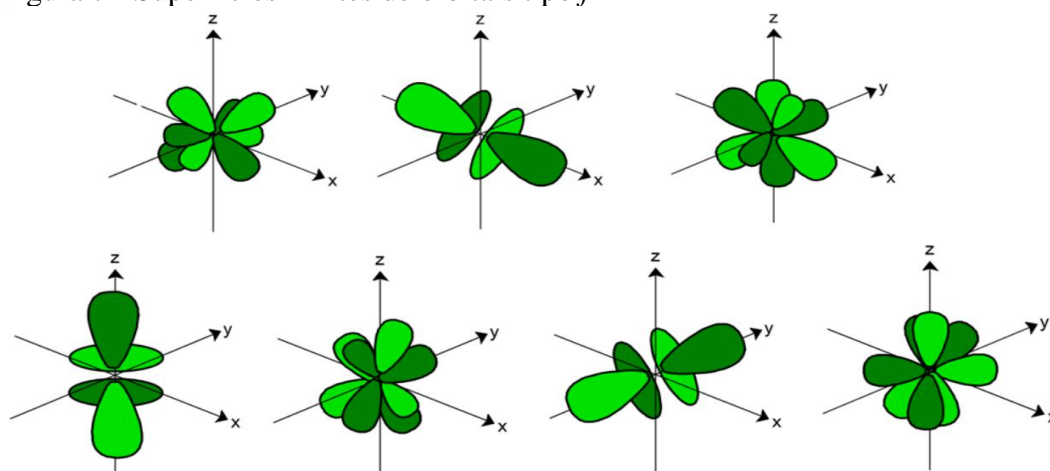


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

### 4.2.4 Orbitais $f$

São orbitais que apresentam  $l = 3$  e, portanto, sete orbitais diferentes  $f_{x(z^2-y^2)}$ ,  $f_x^3$ ,  $f_{xyz}$ ,  $f_z^3$ ,  $f_{z(x^2-y^2)}$ ,  $f_y^3$ ,  $f_{y(x^2-z^2)}$  que comumente não são apresentados nos livros didáticos por conta do seu alto nível de abstração. Apresenta-se uma tentativa de representação de suas superfícies limites no plano bidimensional (Figura 7).

Figura 7 - Superfícies limites de orbitais tipo  $f$



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

### 4.3 O ensino de orbitais

Há uma controvérsia no que diz respeito ao ensino de orbitais atômicos nas escolas e em cursos de Química. Por um lado, alguns educadores acreditam que é desnecessário trabalhar com teorias ultrapassadas e que não são mais válidas, como por exemplo, os modelos atômicos anteriores ao desenvolvimento da mecânica quântica. Por outro lado, há quem acredite que tópicos como orbitais atômicos não deveriam ser trabalhados devido ao seu elevado nível de abstração (TSAPARLIS, 1997).

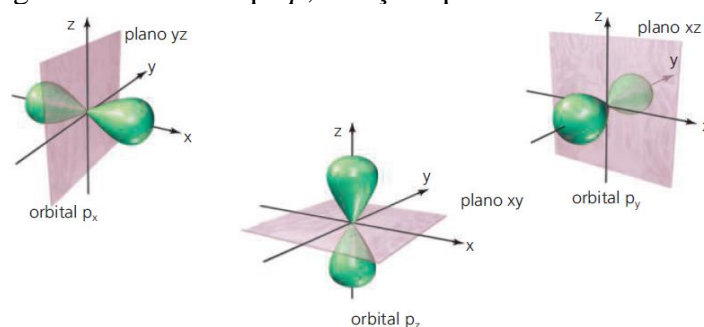
De acordo com Baptista (2013), os Orbitais Atômicos fornecem bases para o entendimento da Teoria da Ligação de Valência (TLV), Teoria do Orbital Molecular (TOM) e do modelo de repulsão dos pares de elétrons da camada de valência, *Valence Shell Electron Pair Repulsion* (VSEPR), que explicam a formação e a geometria das moléculas, além de suas propriedades físicas e reatividade.

Em contrapartida, Lima (2018) afirma que o entendimento dos orbitais atômicos favorece a compreensão da estrutura atômica, ligações e propriedades químicas das substâncias. E como destacam Rocha e Castro (2020), que a escola deve trabalhar com tópicos da Química Quântica, visto que, estes fornecem uma compreensão dos avanços tecnológicos atuais e estão presentes na vida do aluno.

Em um estudo sobre os livros da área de Ciências da Natureza aprovados no Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) de 2021, que buscou um diálogo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento que normatiza o conjunto de “aprendizagens essenciais” que o aluno deve desenvolver ao longo da educação básica, verificou-se que das sete coleções aprovadas no programa, e que atualmente estão em uso nas escolas públicas brasileiras, apenas duas não abordam a temática dos orbitais atômicos.

Das cinco coleções aprovadas no PNLD de 2021 que abordam a temática, apenas a coleção da editora Scipione possui uma discussão mais aprofundada, evidenciando os tipos de orbitais atômicos (Figura 8). Os autores definem orbital como “a região mais provável de encontrar um elétron a certa distância do núcleo” (MORTIMER *et al.* 2020, p. 120).

Figura 8 - Orbitais tipo  $p$ , coleção aprovada no PNLD 2021



Fonte: Mortimer *et al.* (2020).

O ensino de orbitais atômicos, muitas vezes, resume-se à apresentação dos formatos dos orbitais, à configuração eletrônica de átomos, à determinação de números quânticos e ao preenchimento de diagramas de orbitais utilizando a regra de Hund e o princípio de exclusão de Pauli. Nesse modelo, cada orbital é representado por uma caixinha que comporta no máximo dois elétrons, representados por meias setas com *spin* opostos (elétrons emparelhados), para cima e para baixo (*spin-up* e *spin-down*) que devem fornecer a menor energia possível para os átomos, processo favorecido quando a maioria dos elétrons se apresentam com *spins* paralelos (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018) (Tabela 2).

Tabela 2 - Configurações eletrônicas do lítio ao sódio

Elemento	Total de elétrons	Diagrama de orbital				Configuração eletrônica
		1s	2s	2p	3s	
Li	3	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$\square$ $\square$ $\square$	$\square$	$1s^2 2s^1$
Be	4	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\square$ $\square$ $\square$	$\square$	$1s^2 2s^2$
B	5	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$ $\square$ $\square$	$\square$	$1s^2 2s^2 2p^1$
C	6	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$ $\uparrow$ $\square$	$\square$	$1s^2 2s^2 2p^2$
N	7	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$ $\uparrow$ $\uparrow$	$\square$	$1s^2 2s^2 2p^3$
Ne	10	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\square$	$1s^2 2s^2 2p^6$
Na	11	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

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

Após a realização de uma revisão sistemática da literatura no período de 2015 a 2022 que envolveu possíveis recursos para o ensino de Orbitais Atômicos, evidenciou-se que a RA, RV e uso de *softwares* de modelagem molecular têm sido os recursos mais abordados da literatura com potencial facilitador para o ensino deste tópico, já que essas tecnologias digitais



possibilitam uma visualização tridimensional das superfícies limites dos orbitais e permitem a sua manipulação (ALMEIDA, LIMA, BARROS FILHO, 2023).

Apresenta-se um quadro completo com os achados desta pesquisa que mostram as tecnologias utilizadas para o ensino desse tópico bem como suas potenciais vantagens (Quadro 1).

Quadro 1 - Tecnologias e suas potenciais vantagens ao ensinar Orbitais Atômicos

Realidade Virtual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhora da compreensão de conceitos;</li> <li>• Visualização e interação com objetos que não são vistos no cotidiano;</li> <li>• Potencializa a experiência de aprendizagem;</li> <li>• Ajuda os alunos conectarem o mundo real das substâncias químicas ao mundo submicroscópico e este último a linguagem representacional da química;</li> <li>• Desperta interesse e curiosidade;</li> <li>• Os alunos podem fazer conexões profundas e duradouras dentro de sua base de conhecimento.</li> </ul>
Realidade Aumentada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualização das estruturas em 3D é muito útil;</li> <li>• Forma mais interativa de comunicar o conhecimento;</li> <li>• Manipulação de objetos;</li> <li>• Engajamento e entusiasmo;</li> <li>• Maior confiança e competência;</li> <li>• Fornece um aprendizado individual e aprimorado;</li> <li>• Uma compreensão mais profunda de conceitos complexos.</li> </ul>
Programação de cálculos moleculares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite uma otimização de geometria molecular;</li> <li>• Realiza cálculo de propriedades das moléculas;</li> <li>• Alunos mais reflexivos.</li> </ul>
Web Site – Explorador molecular interativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhora o engajamento dos alunos;</li> <li>• Abordagem divertida e imersiva;</li> <li>• Visualização e manipulação do abstrato;</li> <li>• Aumento no nível de confiança dos alunos ao responderem questões referentes ao tema.</li> </ul>
Impressão 3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencializa a ilustração de conceitos.</li> </ul>
Software de modelagem molecular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhora a compreensão dos alunos em conceitos complexos;</li> <li>• Facilita a capacidade de visualização espacial dos alunos.</li> </ul>
Power Point	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoio no desenvolvimento de modelos mentais de entidades que são muito pequenas de serem vistas.</li> </ul>
Jogo educacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Engajam, motivam e estimulam os estudantes no processo de aprendizagem</li> </ul>

Fonte: Almeida, Lima e Barros Filho (2023).

É possível concluir que o estudo dos orbitais atômicos é relevante para que seja compreendida a posição em que a ciência atualmente se encontra no que diz respeito à

percepção submicroscópica da estrutura da matéria, outrossim compreender como ocorrem as ligações químicas e as propriedades dos materiais.

## 5 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, REALIDADE AUMENTADA E A RELAÇÃO ENTRE TAS E RA

Para uma melhor compreensão, a presente seção foi subdividida em três subseções. No primeiro (5.1), são evidenciados os principais elementos constituintes da TAS e sua relação com a disciplina de Química; no segundo (5.2), é conceituada a RA, e discutidas suas aplicações, em especial para o ensino de Química; e, por último (5.3), é realizada uma discussão relacionando a TAS com a RA e sua potencialidade para o ensino de Orbitais Atômicos.

### 5.1 Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

De acordo com Moreira (2012), a TAS proposta por Ausubel (2003), pode ser interpretada como uma construção de conceitos que interagem de forma substantiva e não-arbitrária com as ideias “ancoradas” da estrutura cognitiva do aprendiz, isto é, seus conhecimentos prévios. “Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante” na estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA, 2012, p. 2).

Ausubel, Novak e Hanesian (1980) ressaltam que a interação dessas novas informações com os conhecimentos que o indivíduo já possui em sua estrutura cognitiva não deve ser de forma simples. No processo da aprendizagem significativa, a relação entre essas informações é intensa de tal forma a causarem modificações umas nas outras, ou seja, os novos conhecimentos alteram os já existentes, assim como os conhecimentos existentes modificam a nova informação.

A aprendizagem significativa pode ser do tipo representacional, conceitual ou proposicional. A primeira ocorre quando os símbolos arbitrários representam o significado de objetos e situações de forma concreta; já a aprendizagem conceitual é quando o indivíduo se apropria de um conceito que se adequa a situações ou objetos que possuem algo em comum. Por último, a aprendizagem proposicional ocorre quando o indivíduo consegue trazer significado a novas ideias a partir de proposições, sentenças mais elaboradas que contêm representações e conceitos interconectados (AUSUBEL, 2003).

Para que a aprendizagem seja significativa é necessário que no processo de ensino sejam utilizados dois processos cognitivos como Princípios Programáticos: a **diferenciação progressiva** e a **reconciliação integradora**. De acordo com Moreira (2012), o primeiro processo ocorre quando é atribuído um novo significado a um dado conceito já existente através

de sucessivas interações, tornando esse conceito mais aprimorado, como exemplifica no trecho abaixo:

[...] consideremos o conceito de força. Qualquer criança já formou esse conceito antes de chegar à escola, mas com significados do tipo puxão, empurrão, esforço físico, “fazer força”, “não ter força”, etc. Na escola, em ciências, aprenderá que existe na natureza uma força que é devida à massa dos corpos – a força gravitacional – e que essa força é muito importante para o sistema planetário, que é atrativa, que é regida por uma determinada lei, etc. Para dar significado a essa força, para entender que os corpos materiais se atraem, o aluno muito provavelmente usará o subsunçor força que já tem em sua estrutura cognitiva com significados de seu cotidiano, mas nessa interação ao mesmo tempo que a força gravitacional adquirirá significados o subsunçor força ficará mais rico em significados, pois agora, além de puxão, empurrão, esforço físico, significará também atração entre corpos que têm massa. (MOREIRA, 2012, p. 6).

Para Moreira (2012), o princípio da reconciliação integradora é um processo cognitivo que ocorre em conjunto com a diferenciação progressiva e resulta na capacidade de diferenciar conceitos consolidados dos novos conhecimentos que são aprendidos. Em outras palavras, os dois princípios compactuam com a ideia de um ensino que é proposto inicialmente pelos aspectos mais gerais e mais inclusivos que são diferenciados, tornando-os mais específicos, em seguida ocorrendo o processo inverso, partindo de um conceito específico para o mais geral, contrapondo a ideia de um ensino de forma linearizada, em que os assuntos são apresentados em sequências programáticas do mais simples ao mais complexo.

Além dos dois principais Princípios Programáticos, a TAS também menciona a **organização sequencial** e a **consolidação** como forma de busca pela efetivação da aprendizagem. A primeira, define que os tópicos sejam trabalhados sequencialmente, utilizando-se uma ordem hierárquica, na qual os novos assuntos sejam dependentes dos anteriores. Por fim, a consolidação é o princípio em que se permite verificar o domínio de conhecimentos a partir da resolução de situações-problema antes de serem introduzidos novos conhecimentos.

De acordo com Moreira (2012), existem duas condições essenciais para que ocorra aprendizagem significativa, o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e o discente deve ter uma predisposição a tecer relações das novas informações com as que ele já possui. Dessa forma, é importante que o material de aprendizagem consiga despertar o interesse do aluno a aprender determinado assunto.

Ausubel, Novak e Hanesian (1980) destacam que, embora um determinado material seja potencialmente significativo, se o aluno apenas memorizá-lo de forma arbitrária e literal, não haverá aprendizagem significativa; o mesmo ocorrerá se o aluno tiver a predisposição para

aprender significativamente e o material ou tarefa de aprendizagem não for potencialmente significativo.

Em se tratando da disciplina de Química, é possível elencar uma dificuldade que envolve a construção de uma aprendizagem significativa por parte do aluno, isso porque, muitas vezes, este não consegue fazer relações dos conceitos abstratos da química com situações do seu cotidiano, ou não possui conhecimentos prévios suficientes para a aquisição desse novo saber. Dessa forma, cabe ao professor utilizar de artifícios para tornar o objeto de estudo potencialmente significativo.

Em um levantamento bibliográfico foram encontradas algumas abordagens em que os autores relacionam determinados conceitos da Química com a TAS. Martins, Freitas e Vasconcelos (2019), por exemplo, trabalham o assunto de Geometria Molecular utilizando-se dos conhecimentos prévios que os alunos possuem de formas geométricas, objeto do cotidiano e das construções realizadas na disciplina de Matemática.

Silveira, Vasconcelos e Sampaio (2019) destacam a ludicidade dos jogos como uma forma de propiciar uma aprendizagem significativa, para isso desenvolveram um jogo didático como material potencialmente significativo que proporcionou uma relação entre os conhecimentos prévios dos alunos com novas definições.

Giffoni, Barroso e Sampaio (2020), por outro lado, propõem a utilização de materiais que os estudantes conhecem, como plástico, metal, combustível, para uma abordagem de assuntos ligados ao meio ambiente como uma referência para promover o movimento Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA).

Galdino (2021) desenvolve uma proposta didática que utiliza a dança como organizador prévio para trabalhar os conceitos de estados da matéria, essa estratégia também proporcionou maior motivação aos estudantes, o que contribui para que este tenha a predisposição para aprender o conceito.

No entanto, em uma revisão sistemática da literatura sobre o uso da TAS no ensino de orbitais atômicos, Almeida, Lima e David (2022) concluíram que, nos últimos anos não foram produzidos na literatura trabalhos que abordam essa relação de forma direta, verificando o uso da teoria ausubeliana apenas para o ensino do tópico de modelos atômicos, que apresenta uma certa proximidade com a temática dos orbitais.

O trabalho de revisão realizado teve como recorte temporal os anos de 2016 a 2022 e utilizou como fonte de busca as bases de dados do *Google Scholar*, *ACS Publications*, *Royal Society of Chemistry* e *SpringerLink*, com as *strings* “Química” AND “Teoria da Aprendizagem Significativa” AND “Orbital”, as mesmas *strings* foram traduzidas para o inglês

em buscas internacionais. A pesquisa inicial contou com 3.150 artigos que foram filtrados por critérios de exclusão, tais como artigos de revisão, duplicados, sem cunho pedagógico e artigos fora do escopo da pesquisa, resultando ao final apenas 7 artigos para análise (Quadro 2).

Quadro 2 - Artigos analisados na revisão sistemática da literatura

Identificador	Título do trabalho	Autoria
T01	Modelos mentais e aprendizagem significativa: átomos e moléculas para estudo de caso com licenciandos de física em curso de física moderna	Junior, S. J. B.
T02	Teoria do Orbital Molecular, uma proposta de aplicação no ensino médio de Química	Silva, M. A. S.
T03	Mapas conceituais como material instrucional de Química: estratégias que minimizam a desorientação do aluno e potencializam a aprendizagem de conceitos científicos	Aguiar, J. G.
T04	Neurociências e teorias da educação: estratégias que buscam a eficiência na aprendizagem	Lima, G. C.
T05	Investigating students' understandings about the electronic structure of the atom with regards to energy quantization and probability	Allred, Z. D. R.
T06	Knowledge of atomic structure, bonding and bonding energy: research results from interviews and questionnaire with chemistry and life science students	Ndoile, M. M.
T07	Noções de Física Quântica a partir do estudo do funcionamento de dispositivos semicondutores – uma unidade de ensino potencialmente significativa para a 3ª série do Ensino Médio	Campos, G. C.

Fonte: Almeida, Lima e David (2022).

Os autores realizaram uma análise de conteúdo dos artigos selecionados e, em seguida, criaram duas categorias para agrupar os trabalhos com perspectivas similares. A primeira categoria abrange trabalhos que utilizam a TAS a partir de modelos mentais dos alunos para a estrutura atômica e a segunda integrou artigos que discutiam recursos ou abordagens com potencial para uma aprendizagem significativa. Como resultado da pesquisa, 42,85% dos artigos foram incluídos na primeira categoria e 57,15% na segunda.

Como resultados da pesquisa, além da verificação da escassez de trabalhos voltados para a discussão dos Orbitais Atômicos a partir da TAS, constatou-se também que, as abordagens que dizem embasar-se na teoria de Ausubel, geralmente não englobam os princípios

programáticos da teoria, reduzindo a TAS apenas à ideia de valorização dos conhecimentos prévios dos alunos.

Diante do exposto, escolheu-se a TAS como fundamentação teórica deste projeto, visto que, o aplicativo produzido tem como pilares formadores os quatro Princípios Programáticos da teoria de Ausubel, podendo propiciar uma aprendizagem do tipo representacional, conceitual e até mesmo proposicional. Além disso, o objeto de estudo tem como pressupostos os conhecimentos prévios dos alunos e a parte teórica sobre Orbitais Atômicos trabalhados em sala de aula.

## 5.2 Realidade Aumentada

A evolução tecnológica das interfaces de computadores que iniciou por volta das décadas de 1940 e 1950, fez surgir a partir da década de 1990 a RA, que através de um dispositivo tecnológico permite a justaposição de objetos e ambientes virtuais com uma situação real. Porém, essa tecnologia só foi propriamente difundida por volta dos anos 2000, quando os *softwares* ficaram mais acessíveis pelo desenvolvimento de novas técnicas de compreensão computacional (KIRNER; SISCOUTTO, 2007).

De acordo com o apanhado realizado por Kirner e Siscoutto (2007), a RA pode ser compreendida como um sistema que suplementa, em tempo real, o ambiente físico com objetos virtuais que foram gerados por uma máquina. Essa tecnologia possui vantagens em relação à RV por não necessitar de periféricos como óculos, projetor, monitor ou capacete.

Além do *software* instalado em um dispositivo móvel ou computador, a RA necessita apenas de um objeto de rastreamento e uma câmera instalada. O dispositivo de RA funciona basicamente da seguinte forma, uma câmera é apontada para um objeto denominado de marcador, logo um código é transmitido ao *software* que irá interpretá-lo, em seguida o *software* gera o objeto virtual e o devolve à cena real, havendo então a sobreposição do objeto virtual ao local ao qual a câmera foi apontada (QUEIROZ; OLIVEIRA; REZENDE, 2015).

Dentre as possíveis aplicações dessa tecnologia é possível destacar seu uso na medicina, com a simulação de cirurgias, na arquitetura, com o desenvolvimento de projetos para a prestação de serviços, no entretenimento, como o jogo *mobile* de grande sucesso *Pokémon Go*, lançado em 2016, e na educação, podendo transportar o aluno para diversas situações de aprendizagem, ou proporcionando a implementação de objetos de difícil acesso com riquezas de detalhes e em três dimensões.

Em revisão sistemática realizada por Mazzuco *et al.* (2021), que buscou na literatura internacional trabalhos publicados entre os anos de 2011 a 2020 que abordassem a Química a partir da Realidade Aumentada, foi verificado um crescente aumento de trabalhos nesta perspectiva, tendo como principal tópico em Química as estruturas moleculares. Dessa forma, é possível estimar que na disciplina de Química, a RA tem sido utilizada para facilitar o ensino e a aprendizagem de conteúdos que necessitam de visualização e compreensão espacial de estruturas tridimensionais.

Em uma revisão sistemática da literatura realizada (artigo em avaliação), foi constatado que no Brasil, também há muitos trabalhos que abordam a Química utilizando RA, no qual também foi verificado conteúdos abstratos como sendo os de maior ocorrência nessa literatura, reafirmando a potencialidade da RA na visualização de fenômenos e modelos em Química.

Outro achado muito importante desta revisão foi o de que as ferramentas tecnológicas de RA, geralmente, não são desenvolvidas tendo como pilar alguma teoria pedagógica. Verificou-se que apenas um trabalho dentre os onze analisados, afirmava utilizar a TAS para fundamentar o *software* desenvolvido, porém não foi verificada uma sistematização das ideias propostas por Ausubel em sua teoria, demonstrando que o aplicativo a ser desenvolvido a partir deste trabalho pode contribuir para o incremento da TAS no estudo sobre o ensino de Orbitais dentro do contexto tecnológico digital, mais especificamente, fazendo uso da RA.

### **5.3 A relação entre a TAS e a RA**

Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980), para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa é necessário a utilização de um material que seja potencialmente significativo. Diante dos estudos realizados até aqui, verifica-se que a RA pode ser configurada como esse tipo de material, visto que, pode interagir de forma não arbitrária e substantiva na estrutura cognitiva do aprendiz.

De acordo com Barbosa e Carvalho (2017), a RA pode propiciar o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa, visto que a tecnologia digital já faz parte do cotidiano dos estudantes, além disso, a ludicidade desse recurso encoraja e motiva os estudantes, dessa forma, os *softwares* de RA podem ser configurados para que se apresentem como materiais potencialmente significativos.



Yildirim (2020), após um estudo utilizando RA no ensino de ciências, concluiu que essa tecnologia possibilita o desenvolvimento da aprendizagem significativa quando utilizada para ensinar conceitos abstratos, visto que foi verificado que um grupo de estudantes que utilizaram RA obtiveram melhor desempenho em testes, além de conseguirem aplicar o que aprenderam em situações variadas.

Além do material potencialmente significativo, é necessário que haja uma predisposição do aluno em fazer relações dos novos assuntos aos conhecimentos preexistentes em sua estrutura cognitiva. Acredita-se que a RA pode funcionar como a energia de ativação necessária para que essa reação ocorra, motivando o aluno a construir sua própria aprendizagem.

Diante do exposto, verifica-se que um *software* de RA desenvolvido de acordo com os Princípios Programáticos propostos por Ausubel, pode proporcionar o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa de conceitos abstratos, dessa forma, essa sistemática será utilizada para produzir um aplicativo que facilite o ensino do tópico de Orbitais Atômicos, necessário ao entendimento da estrutura da matéria.

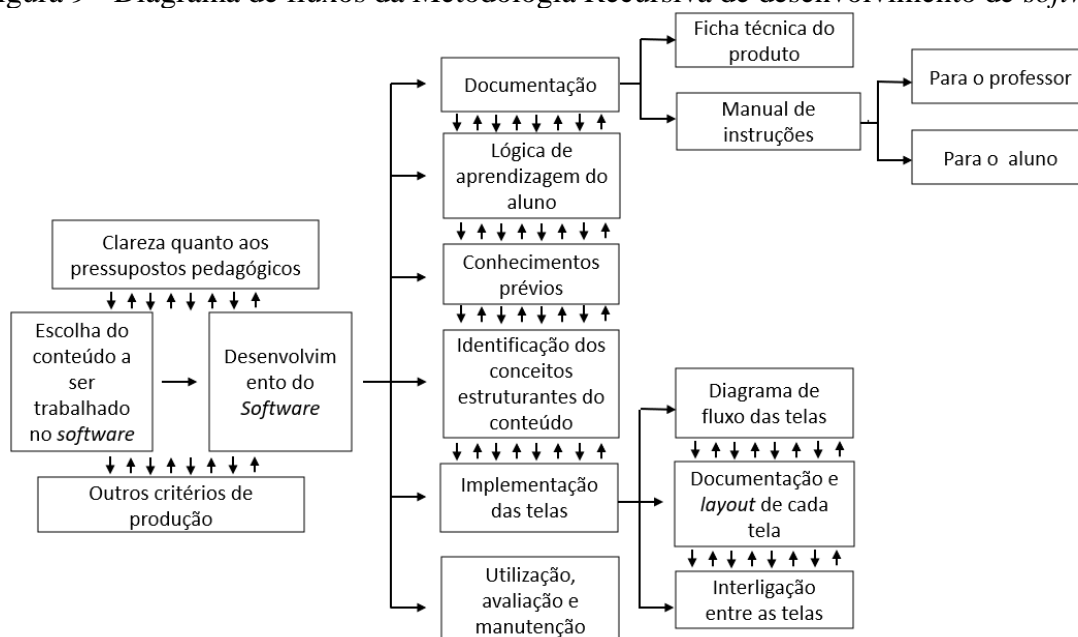
## 6 METODOLOGIA

A metodologia escolhida para o desenvolvimento do *software* é a Recursiva, proposta por Oliveira, Costa e Moreira (2001), que tem como base teórica concepções interacionistas e construtivistas do conhecimento. O processo de produção de *software* educativo segundo essa proposta tem como pressupostos pedagógicos a utilização dos conhecimentos prévios dos alunos, a forma pela qual o conteúdo é introduzido no processo educativo e, por fim, a interpretação que é atribuída às respostas dos alunos durante a utilização do recurso. De acordo com os autores, a Metodologia Recursiva de Produção de *Softwares* desde seu planejamento, desenvolvimento e avaliação deve seguir as etapas descritas abaixo:

- 1- Escolha do conteúdo;
- 2 - Análise dos conhecimentos prévios dos alunos;
- 3 - Identificação dos conceitos estruturantes do conteúdo;
- 4 - Desenvolvimento do diagrama de fluxo do *software* educacional;
- 5 - Desenvolvimento das telas, *layout* e planejamento;
- 6 - Implementação das telas;
- 7 - Desenvolvimento da documentação do *software* educacional;
- 8 - Utilização, avaliação e manutenção do *software* educacional.

Nessa proposta metodológica, a avaliação é compreendida como um processo contínuo. Além disso, todas as atividades descritas anteriormente possuem uma relação entre si, dessa forma, qualquer alteração que seja realizada em uma delas repercute no processo como um todo. Esse fenômeno é descrito a partir de um diagrama de fluxos (Figura 9).

Figura 9 - Diagrama de fluxos da Metodologia Recursiva de desenvolvimento de *software*



Fonte: adaptado de Oliveira, Costa e Moreira (2001).

A documentação do *software* está dividida em duas partes. Na primeira, em que é realizada a ficha técnica do produto, que contempla informações referentes aos requisitos de sistema necessários para a instalação e a utilização do aplicativo, como velocidade de processamento e espaço para armazenamento.

Na segunda parte da documentação são produzidos dois manuais de usuário, um para alunos e outro para professores, com instruções técnicas para utilização do aplicativo, como a necessidade de *download* dos *targets* (imagens gatilho para a RA), uso da câmera no aplicativo, iluminação e ambientes adequados. Esses manuais estão disponíveis na biblioteca de aplicativos em que o *software* será inserido, e também no botão “SOBRE”, na tela inicial do aplicativo.

No manual do aluno também estão integrados elementos com finalidade de despertar o seu interesse para o assunto dos Orbitais Atômicos, abordados no aplicativo. Já no manual do professor é disponibilizado um guia de apoio pedagógico, trazendo de forma breve uma justificativa, seu objetivo educacional e uma descrição da TAS, que alicerça o desenvolvimento do *software*.

De acordo com essa teoria, proposta por Ausubel (2003), o aluno aprende significativamente quando ancora um conhecimento novo a um conhecimento já existente em sua estrutura cognitiva. Essa aprendizagem deve seguir uma sequência lógica que será utilizada no aplicativo: 1 - captação dos conhecimentos prévios dos alunos, 2 - apresentação de elementos dos organizadores prévios, 3 - atividades pautadas na diferenciação progressiva, 4 - atividades

pautadas na reconciliação integradora, 5 - atividades pautadas na organização sequencial, 6 - atividades pautadas na consolidação.

Para a captação dos conhecimentos prévios dos alunos, são levantados questionamentos nas telas iniciais do aplicativo referentes à temática orbitais, que são utilizados posteriormente dentro do próprio aplicativo como um processo de autoavaliação do usuário.

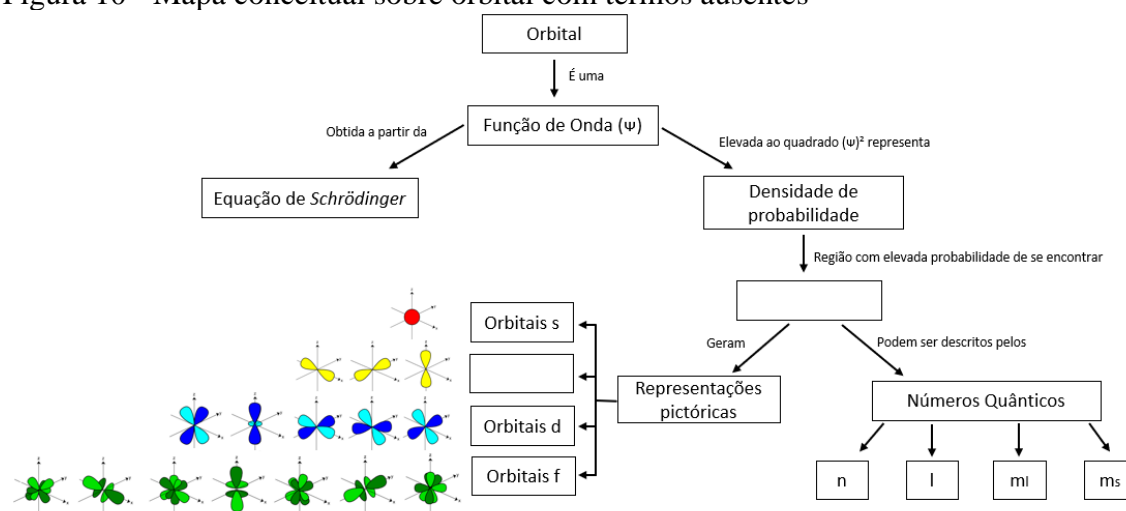
A apresentação dos elementos dos organizadores prévios é realizada por meio de um vídeo, apresentado na tela posterior aos questionamentos iniciais. Esse vídeo mostra curiosidades sobre o assunto, com possíveis aplicações no cotidiano do aluno, além de uma revisão de possíveis conceitos prévios construídos no Ensino Médio.

A diferenciação progressiva é trabalhada da seguinte forma, apresenta-se uma tela inicial com o conceito geral de orbital, e a partir disso, são trabalhados conceitos específicos, os tipos de orbitais, para isso, utilizam-se as respostas aos questionamentos das telas iniciais, retornando um *feedback* positivo em caso de acertos, ou construtivos em caso de respostas errôneas. Juntamente ao *feedback*, também são apresentados os orbitais relacionados aos questionamentos em Realidade Aumentada, por exemplo, o usuário não identificou o orbital  $P_x$  de forma correta, o aplicativo retorna o conceito geral de orbital, e depois, os tipos de orbitais em RA, assim o usuário tem a possibilidade de fazer a manipulação espacial desse objeto em três dimensões.

Para a reconciliação integradora são apresentados orbitais em RA, e a partir disso, o usuário é questionado quanto ao conceito geral de orbital, escolhendo uma justificativa para o motivo de sua resposta. Ao final dessa etapa, serão apresentadas na tela, explicações quanto ao formato, causas e semelhanças entre os orbitais.

Na organização sequencial, é apresentado um mapa conceitual com conceitos e palavras-chave contendo algumas lacunas que serão preenchidas pelos alunos (Figura 10).

Figura 10 - Mapa conceitual sobre orbital com termos ausentes

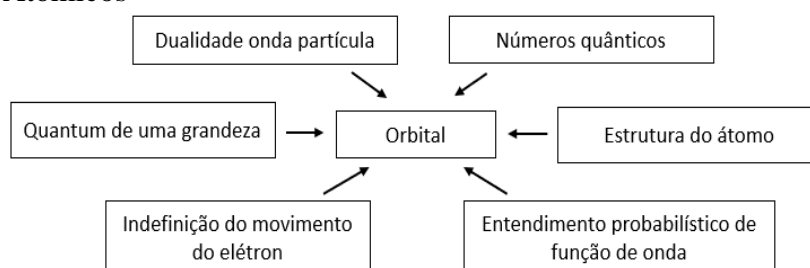


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

E por último, na consolidação, o usuário resolve problemas envolvendo a abordagem dos conceitos de orbitais. Em caso de acerto, a explicação da resolução da questão é indicada, caso o aluno erre, são apresentadas dicas para que tente novamente até chegar na resposta correta.

A identificação dos conceitos estruturantes do conteúdo foi mencionada na justificativa, e estes foram trabalhados posteriormente no capítulo teórico sobre os orbitais. Os conceitos foram baseados no trabalho de Lima (2018) que destaca como necessários ao entendimento dos Orbitais Atômicos: *quantum*, dualidade onda partícula, estrutura do átomo, indefinição do movimento do elétron, números quânticos e o entendimento probabilístico de função de onda (Figura 11).

Figura 11 - Conceitos estruturantes para o entendimento dos Orbitais Atômicos



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

A prototipação de alta fidelidade das telas iniciais é planejada no *figma*, ferramenta de prototipagem de *design*, e posteriormente sua produção definitiva é realizada com o *software*

*Unity*, plataforma intuitiva de desenvolvimento de aplicativos e jogos que possui licença gratuita.

Para interligar as telas e armazenamento de conteúdo é necessário incluir elementos de programação, para isso, são desenvolvidos alguns *scripts* de transições, com a linguagem *C Sharp (C#)*, utilizando o *Visual Studio Code*, um editor de códigos gratuito, usado para operações de desenvolvimento. O código reconhece um comando, um acionamento de botão por exemplo, desativará a tela atual e ativará a tela seguinte.

O aplicativo é avaliado por dezessete (17) sujeitos do curso de Licenciatura em Química da UVA e por outros dezessete (17) discentes do curso de Licenciatura em Química da UECE. A amostra escolhida deve ter cursado Química Geral I / Fundamentos de Química I, disciplinas que têm como objetivo introduzir conceitos da estrutura química e suas transformações, e que possui em seu programa o estudo dos Orbitais Atômicos, tópico abordado neste estudo.

O Curso de Química ofertado pela UVA tem por objetivo promover a formação de profissionais de Química a fim de atender à demanda para o desenvolvimento da região Norte do Estado do Ceará, despertando nas novas gerações o comprometimento com o magistério como instrumento essencial para a melhoria da qualidade de vida da sociedade. Já o curso de Licenciatura em Química da FAEC, polo da UECE, tem como objetivo formar professores para o Ensino Médio, com direito a lecionar Ciências e Química no Ensino Fundamental, dotando o profissional docente de uma base instrumental para desenvolver projetos de pesquisa e extensão, que possibilitem a produção do conhecimento na sua área de atuação, contribuindo para o desenvolvimento científico e cultural do Estado do Ceará (informações retiradas das páginas das instituições na web).

Esses alunos são convidados a utilizar o aplicativo ao longo de uma aula de cinquenta minutos, em que estão sujeitos a várias abordagens do conteúdo, visualizando representações em três dimensões, respondendo a questões e acessando informações e curiosidades sobre os orbitais atômicos dentro do próprio *software*. E ao fim é solicitado que respondam ao questionário de avaliação.

Para a avaliação do aplicativo, utiliza-se o *System Usability Scale (SUS)* que verifica a usabilidade de um produto tecnológico a partir de uma compreensão geral de avaliações subjetivas derivadas de uma série de afirmações do tipo escala Likert (BROOKE, 1996).

De acordo com o autor, é possível analisar a satisfação, a eficácia e a eficiência do *software* com o SUS, que é composto por 10 afirmações nas quais as respostas vão de 1 a 5,

sendo o 1 "Discordo totalmente" e o 5 "Concordo totalmente". Esse questionário disposto na Figura 12 é aplicado após a utilização dessa tecnologia pelo usuário.

Figura 12 - *System Usability Scale*

	Discordo Totalmente				Concordo Totalmente
1. Eu acho que gostaria de usar esse sistema com frequência.	1	2	3	4	5
2. Eu acho o sistema desnecessariamente complexo.	1	2	3	4	5
3. Eu achei o sistema fácil de usar.	1	2	3	4	5
4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.	1	2	3	4	5
5. Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas.	1	2	3	4	5
6. Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.	1	2	3	4	5
7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente.	1	2	3	4	5
8. Eu achei o sistema atrapalhado de usar.	1	2	3	4	5
9. Eu me senti confiante ao usar o sistema.	1	2	3	4	5
10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.	1	2	3	4	5

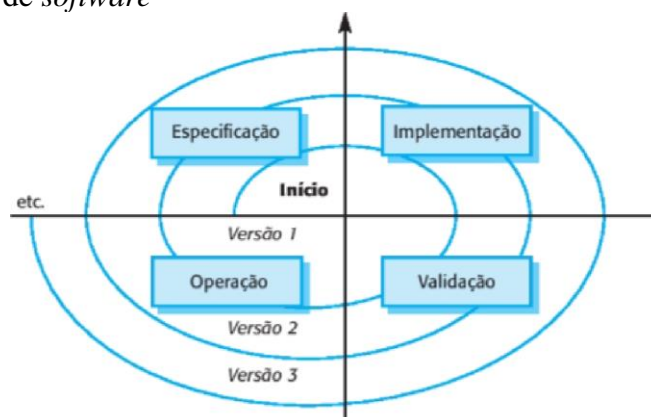
Fonte: adaptado de Brooke, J. (1996).

A aplicação do SUS resulta em um número que varia de 0 a 100, tendo como 68 um valor satisfatório para o sistema analisado. O cálculo desse valor é feito utilizando-se as questões ímpares (1, 3, 5, 7 e 9) subtraindo o resultado por 1 e as questões pares (2, 4, 6, 8 e 10) sendo subtraídas de 5. Após os cálculos individuais deve-se somar todos os resultados e multiplicar por 2,5 (BROOKE, 1996).

Os entrevistados são orientados a responder o questionário logo após o uso do *software* e que não pensem por muito tempo para marcar a resposta. É recomendado também que nenhuma das afirmações fique em branco, caso o usuário não se sinta capaz de responder alguma das questões deve-se marcar o número 3, centro da escala (BROOKE, 1996).

Após a aplicação do SUS e da análise dos dados, ocorre a manutenção e a evolução do *software*, em que são realizadas possíveis adequações no produto de acordo com o que for retornado pelos usuários, gerando uma nova versão do produto com o intuito de minimizar erros e aprimorar a usabilidade. O processo de evolução do *software* é baseado em Sommerville (2018), e segue o formato de um espiral (Figura 13).

Figura 13 - Processo de desenvolvimento e evolução de *software*



Fonte: Sommerville (2018).

De acordo com Sommerville (2018), a manutenção é um processo em que ocorre a modificação do sistema após a sua “finalização”, podendo ocorrer mudanças simples, extensas ou significativas, retirando ou adicionando novos elementos ao sistema. As mudanças simples servem para corrigir erros na programação, as extensas corrigem algum erro no projeto inicial e as significativas corrigem erros de especificação ou incluem novos encargos.

A proposta de pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFC, buscando atender os requisitos necessários para a sua realização, obedecendo os aspectos éticos e legais em consonância com a Resolução nº 510, de 07 de abril de 2016 do Conselho Nacional de Saúde (CNS) do Ministério da Saúde (MS). Após análise, a pesquisa foi aceita sob parecer substanciado do CEP de nº 5.911.830 (ANEXO A).

São apresentados o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE C), o TCLE no caso de menores de idade (APÊNDICE D) e o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE), (APÊNDICE E), buscando a concordância dos participantes e/ou responsáveis, por meio de assinatura, na execução da pesquisa e na divulgação dos resultados obtidos por meio dela. Nesse termo, é assegurado o anonimato dos participantes, visto que, na divulgação dos resultados serão usados codificadores, a fim de manter a integridade dos sujeitos da pesquisa.



## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O produto deste trabalho de pesquisa trata-se de um aplicativo de RA para dispositivos Android intitulado OrbiTAS, estruturado com base nos Princípios Programáticos da TAS, com o intuito de potencializar o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa do tópico de Orbitais Atômicos.

Dentre os elementos elencados para o desenvolvimento do produto, inicia-se pela escolha do conteúdo Orbitais Atômicos, oriundo da disciplina de Química. A partir desse tema central, são identificados os conceitos estruturantes necessários à sua compreensão: *quantum*, dualidade onda partícula, estrutura do átomo, indefinição do movimento do elétron, números quânticos e o entendimento probabilístico de função de onda.

Quanto ao levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos em relação à temática, recomenda-se que o professor faça um momento de discussão em uma etapa anterior à utilização do aplicativo. No entanto, o próprio *software* possui questionamentos iniciais que podem ser utilizados para essa função.

No restante desta seção são tratadas as etapas de desenvolvimento do produto educacional, que para uma melhor organização, está dividido nos seguintes subtópicos:

7.1 - Desenvolvimento do diagrama de fluxos, planejamento, *layout*, desenvolvimento e implementação das telas;

7.2 - Elaboração da documentação do *software*;

7.3 - Utilização, avaliação e manutenção do *software*.

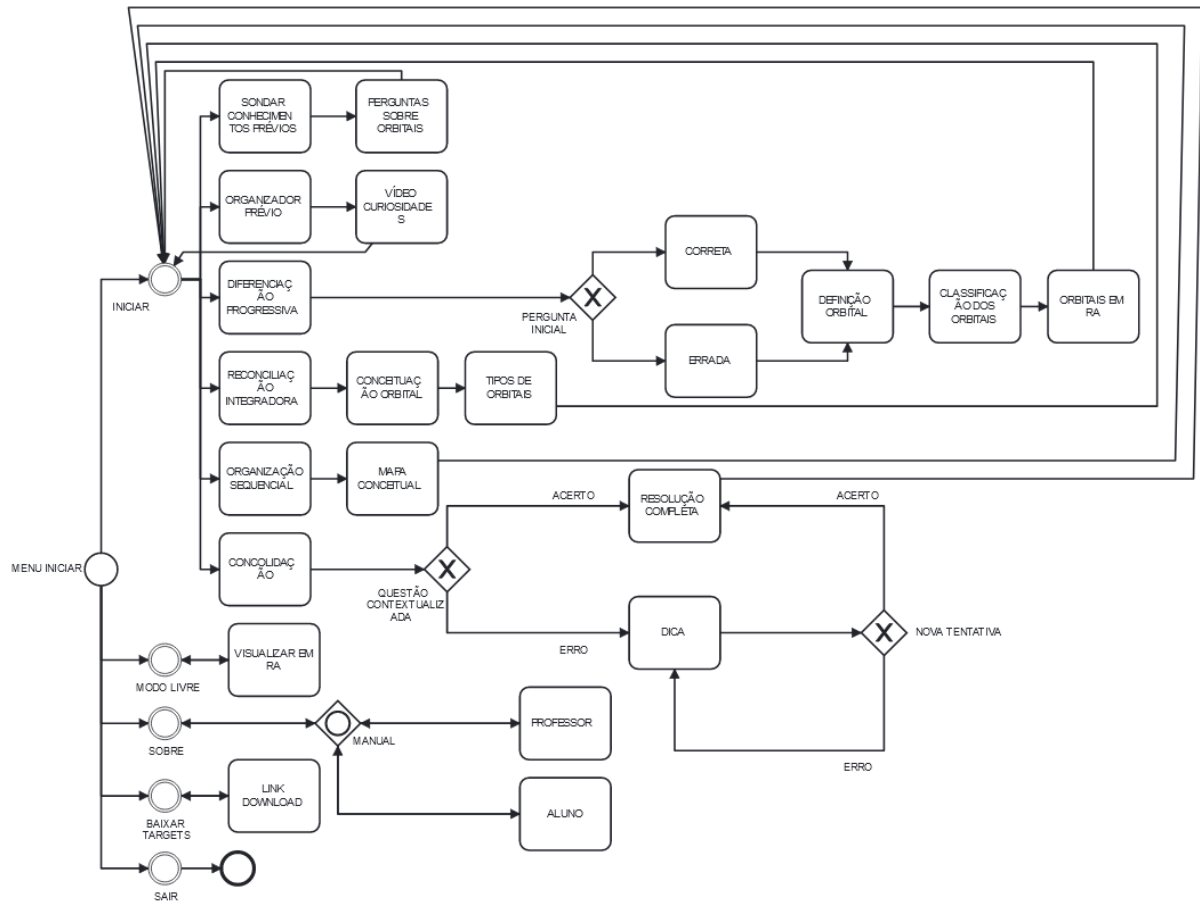
### **7.1 - Desenvolvimento do diagrama de fluxos, planejamento, *layout*, e implementação das telas do aplicativo OrbiTAS**

Para o desenvolvimento do diagrama de fluxos foi utilizada a modelagem de processos de negócios, do inglês Business Process Model and Notation (BPMN). Dessa forma, o sequenciamento das telas foi simplificado pela utilização de ícones que possuem significados técnicos.

O círculo simples representa o início do processo, o círculo com borda dupla caracteriza um evento intermediário e o círculo com bordas mais intensas representa o fim do processo. Os quadrados de pontas arredondadas representam tarefas, as setas relacionam essas tarefas, e os losangos (*gateways*) simbolizam decisões, quando há um “X” dentro do losango (*parallel gateway*) essa decisão só pode ser a escolha de uma opção (ou uma ou outra), já

quando há um círculo dentro do losango (inclusive *gateway*), há a possibilidade de uma ou mais opções de decisões (Figura 14).

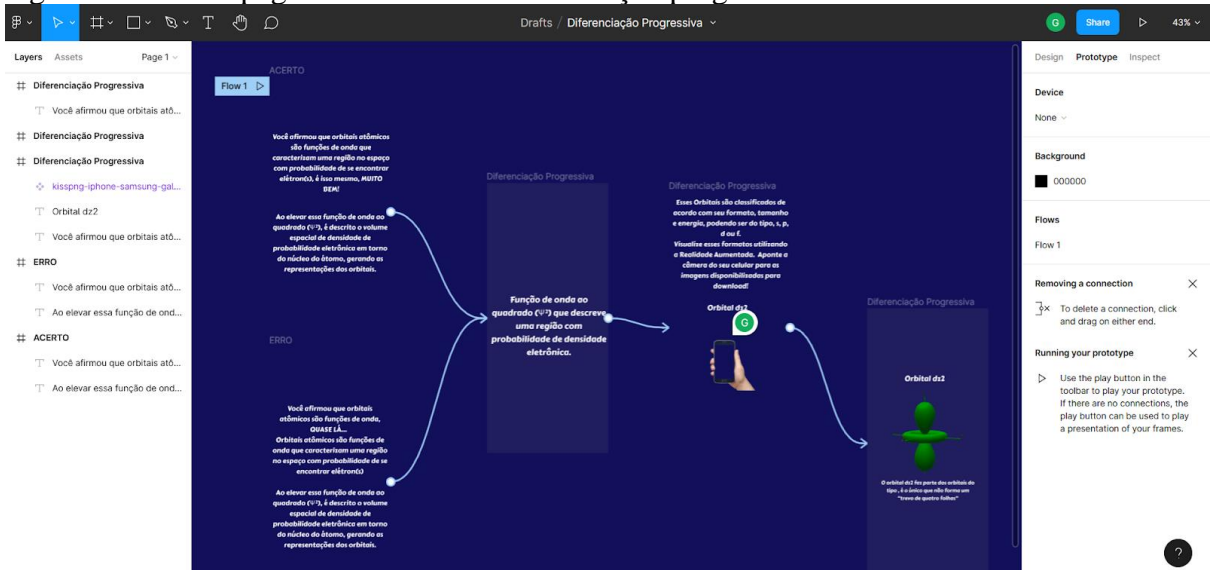
Figura 14 - Diagrama de fluxos das telas do aplicativo



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

A prototipação de alta fidelidade de telas foi estruturada previamente no *Figma* (<https://www.figma.com> acesso: 28/05/23), um *site* que funciona como editor gráfico para prototipagem e *design* de projetos (Figura 15).

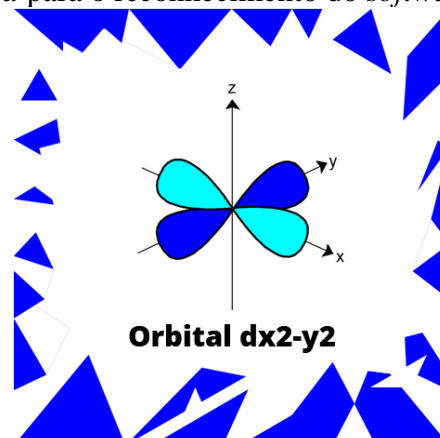
Figura 15 - Prototipagem das telas da diferenciação progressiva



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Para o desenvolvimento deste *software* foi necessário, inicialmente, a utilização do *Vuforia*, um *kit* de desenvolvimento que permite a implementação da RA a partir do reconhecimento de imagens planares ou objetos em 3D. No site *vuforia* (<https://developer.vuforia.com/> acesso: 28/05/23), na aba de desenvolvedor, é feito o *upload* dos *targets* (Figura 16), que são as imagens reconhecidas pelo *software*, a partir da câmera do celular, devolvendo para a cena real os orbitais em Realidade Aumentada.

Figura 16 - Target de um orbital do tipo *d* para o reconhecimento do *software*

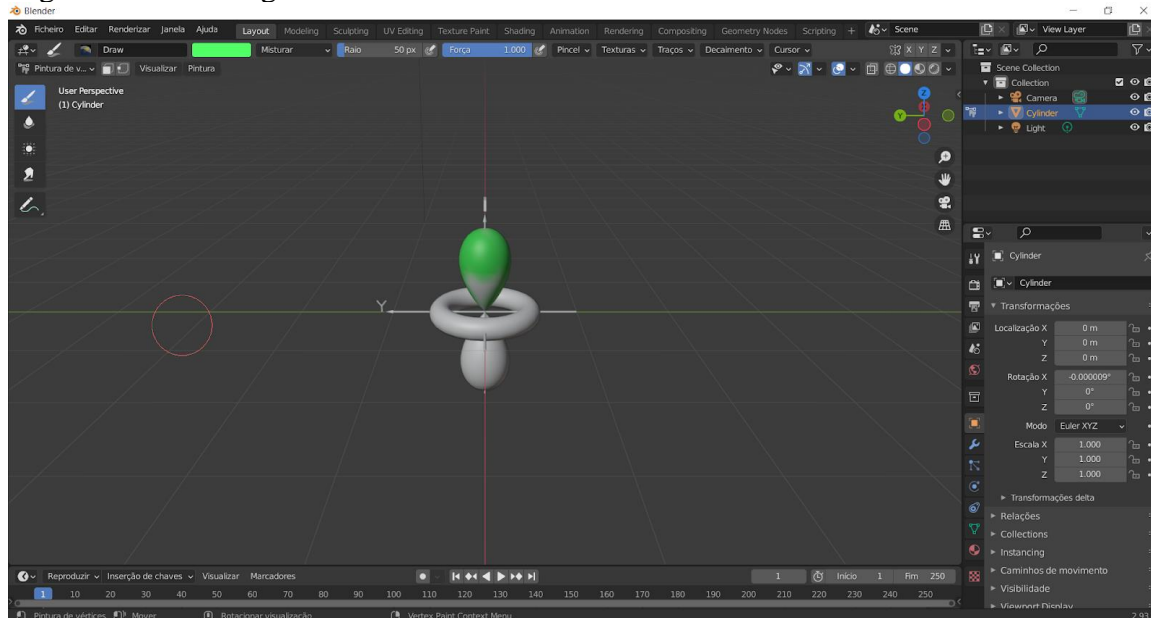


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Todos os orbitais foram arquitetados e texturizados utilizando a versão 2.93 do *Blender*, *software* de modelagem 3D de código aberto (Figura 17). Em seguida, os orbitais

produzidos foram renderizados e exportados para o *Unity* (versão 2020.3.21f1), plataforma de desenvolvimento de jogos que possui licença gratuita para estudantes acima de 16 anos e pequenas empresas com receita anual de até 100 mil dólares.

Figura 17 - Modelagem do Orbital  $d_{z^2}$  no *Blender*



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Após o planejamento das telas e a modelagem dos orbitais, foi iniciada sua implementação dentro do *Unity*, copiando todo o *layout* e o sequenciamento previamente prototipado no *Figma* e importando os modelos dos orbitais renderizados do *Blender*.

Para a criação das telas, o *Unity* disponibiliza a opção “Canvas”, ferramenta que possibilita o desenvolvimento de elementos da interface do usuário. Dentro do Canvas, a partir da opção “UI”, criou-se um painel que é ajustado para a resolução de um aparelho telefônico ou *tablet* “Width” = 720 e “Height” = 1280.

Ainda dentro do Canvas, na opção “Button”, criaram-se os botões presentes nas telas, formatados com os textos, cores e acionamento de comandos.

A imagem com a logo do aplicativo é adicionada ao *Unity*, e para que seja fixada na tela do aplicativo foi preciso clicar na opção “Raw image”, em seguida o tamanho foi ajustado, e na opção “Texture”, a imagem da logo foi copiada e adicionada ao *Unity* (Figura 18).

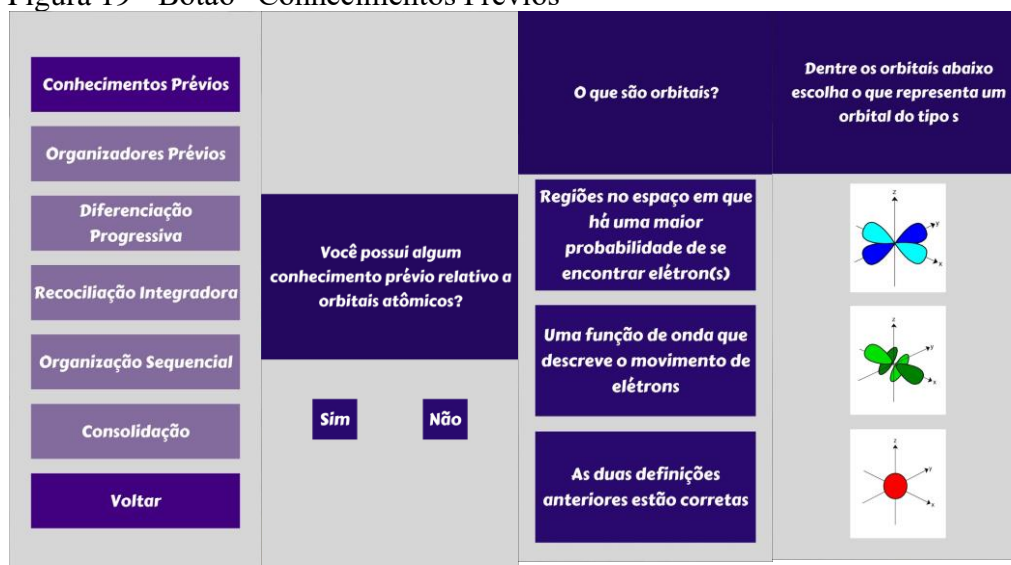
Figura 18 - Menu inicial do aplicativo desenvolvido no *Unity*

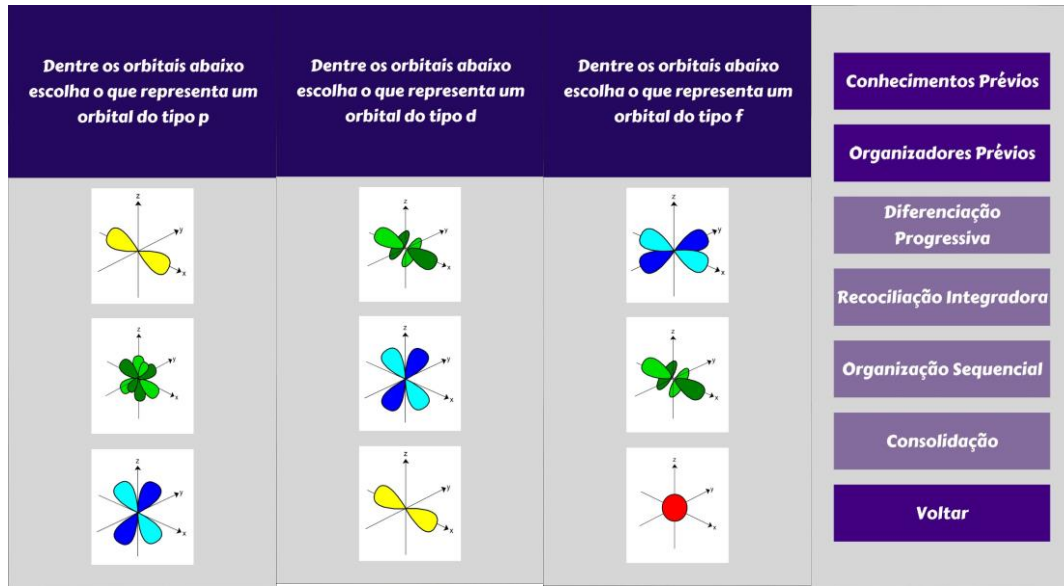


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Ao clicar no botão “INICIAR” o usuário é direcionado para outra tela em que se trabalha com o tópico dos Orbitais a partir dos princípios programáticos da TAS. Inicialmente apenas o botão “Conhecimentos Prévios” encontra-se habilitado, no qual o usuário deve responder a algumas perguntas relacionadas ao tópico, e somente ao concluir as “tarefas” dos conhecimentos prévios é que o botão seguinte (Organizadores Prévios) é habilitado (Figura 19)

Figura 19 - Botão “Conhecimentos Prévios”





Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Ao clicar sobre o botão “Organizadores Prévios”, o aplicativo exibe um vídeo em que são apresentadas algumas curiosidades sobre o assunto, trazendo relações com conceitos previamente estudados no Ensino Médio, buscando evidenciar a sua presença nos avanços tecnológicos que fazem parte do cotidiano do aluno. Ao concluir a visualização do vídeo, o botão “Diferenciação Progressiva” é habilitado (Figura 20).

Figura 20 - Botão “Organizadores Prévios”

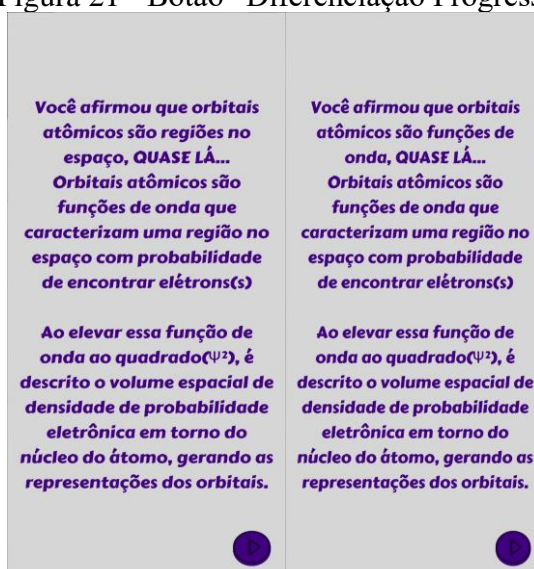


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

No botão da “Diferenciação Progressiva” utiliza-se a resposta do usuário à pergunta feita na etapa dos conhecimentos prévios, “O que são Orbitais?”, as duas primeiras opções de resposta são consideradas incompletas, e caso o usuário tenha escolhido alguma delas, o

aplicativo retorna uma explicação complementando a resposta do usuário de forma correta. Caso o usuário responda à pergunta escolhendo a terceira opção “as duas definições anteriores estão corretas”, o usuário é parabenizado, e o aplicativo reforça a resposta correta escolhida (Figura 21).

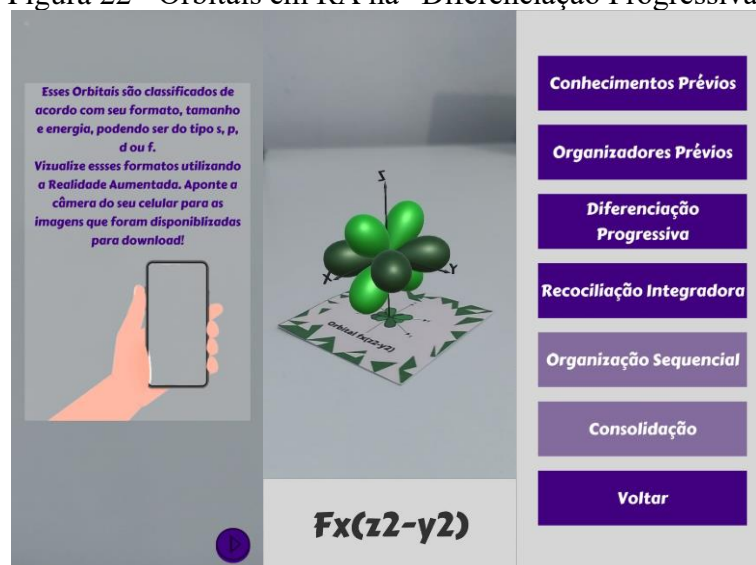
Figura 21 - Botão “Diferenciação Progressiva”



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Na sequência, o usuário é convidado a apontar a câmera do celular para as imagens gatilho dos orbitais para a visualização em RA. A partir do momento em que o usuário visualiza, no mínimo, três tipos de orbitais, um botão de avançar é liberado na tela, permitindo ao usuário retornar para o menu anterior, quando o botão “Reconciliação Integradora” é liberado (Figura 22).

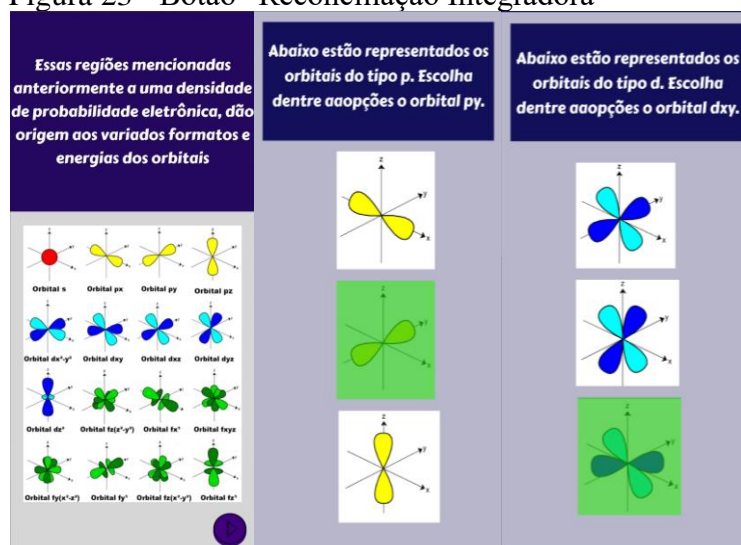
Figura 22 - Orbitais em RA na “Diferenciação Progressiva”



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Ao clicar no botão da “Reconciliação Integradora”, o usuário é redirecionado a um questionamento quanto ao conceito de Orbital, caso a resposta escolhida esteja errada, o botão ficará na cor vinho e não avançará para a próxima tela, a menos que a resposta correta seja acionada. Na tela subsequente são demonstrados os tipos de orbitais,  $s$ ,  $p$ ,  $d$  e  $f$ , e ao clicar no botão de avançar o usuário retorna para o menu anterior no qual a opção da “Organização Sequencial” encontra-se liberada (Figura 23).

Figura 23 - Botão “Reconciliação Integradora”

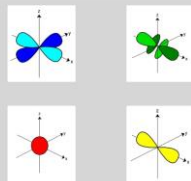




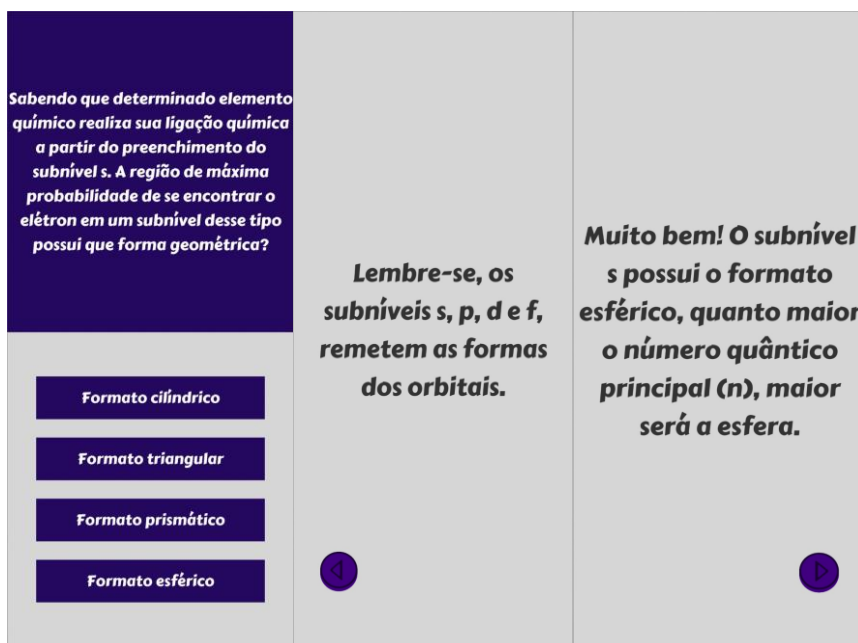


subnível s. Caso seja escolhida uma opção errada em qualquer uma das perguntas, o usuário é redirecionado para uma tela com uma dica para resolução, e em seguida novamente à mesma pergunta. Em caso de escolha da opção correta, uma nova tela é apresentada, parabenizando o usuário e justificando a alternativa correta (Figura 25). Ao final da consolidação concluem-se as etapas dos “Princípios Programáticos”, que podem ser acessados novamente a qualquer momento.

Figura 25 - Botão “Consolidação”

<p><b>Agora, vamos aplicar os conceitos construídos até aqui...</b></p>	<p><b>O Hidrogênio é o elemento químico mais leve existente, podendo se ligar a outro átomo de hidrogênio e formar o gás hidrogênio, que pode ser utilizado como combustível de carros e foguetes. Sabendo que o número atômico do hidrogênio é igual a 1, a partir da distribuição eletrônica, qual dos orbitais abaixo se caracteriza como um orbital para o hidrogênio?</b></p> 	<p><b>Dica: faça a distribuição eletrônica para o átomo de hidrogênio, e veja em que orbital o último elétron é adicionado, p, d ou f.</b></p>	<p><b>Muito bem! Quando realizamos a distribuição eletrônica para o átomo de hidrogênio, a camada de valência é definida por 1s, logo, o último elétron (e único) está disposto em um orbital do tipo s.</b></p>
---	---	--	--

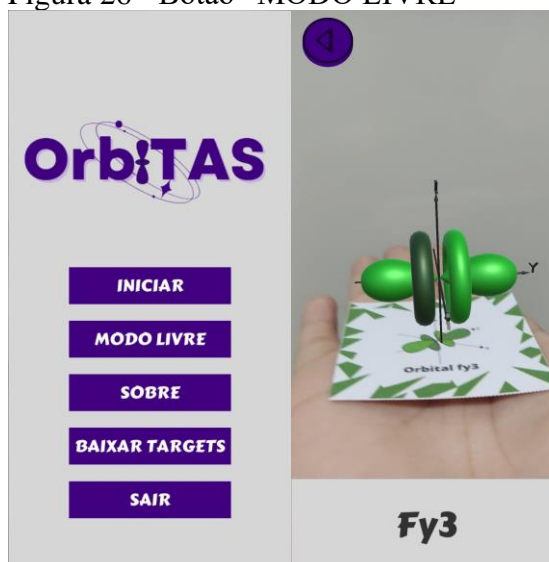
<p><b>O Flúor(F<sub>2</sub>), utilizado na forma de gel para prevenir a cária dentária, é encontrado naturalmente no estado gasoso, um gás tóxico que pode causar a morte se inalado. Sabendo que o elemento Flúor possui número atômico 9, indique qual das opções abaixo representa o orbital deste elemento que permite a realização de sua ligação química:</b></p>	<p><b>Dica: faça a distribuição eletrônica para o átomo de Flúor, e veja onde há orbitais incompletos, lembrando que s = 2 elétrons, p = 6 elétrons e f = 14 elétrons.</b></p>	<p><b>Muito bem! Quando realizamos a distribuição eletrônica para o átomo de flúor, a camada de valência é definida por 2s<sup>2</sup>, 2p<sup>5</sup>, portanto a ligação química ocorre pela sobreposição do último orbital que encontra-se semipreenchido, o orbital 2pz.</b></p>
---	--	--



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

No MENU inicial, ao clicar em “MODO LIVRE”, o usuário é direcionado para a tela de visualização dos orbitais em RA a partir da leitura dos *targets*, de forma direta, sem passar pelos Princípios Programáticos (Figura 26).

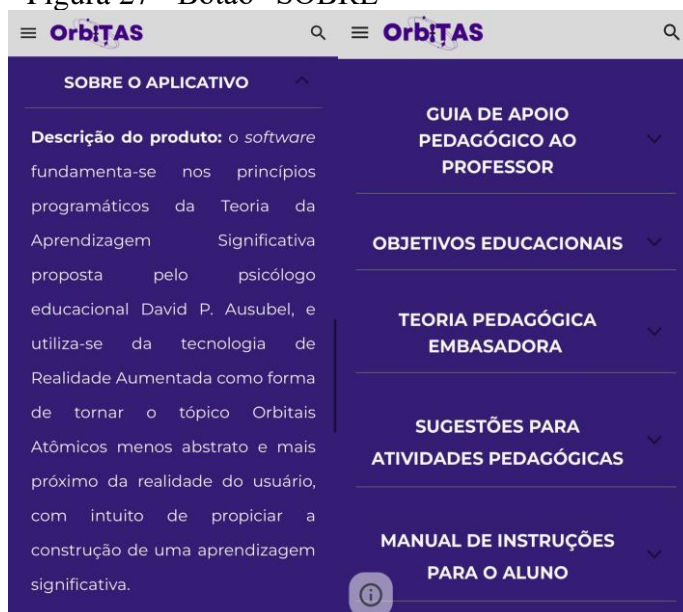
Figura 26 - Botão “MODO LIVRE”



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Ao clicar no botão “SOBRE”, o usuário é direcionado para uma página do *site* OrbiTAS, em que encontra informações técnicas e pedagógicas sobre o aplicativo (Figura 27).

Figura 27 - Botão “SOBRE”



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Enquanto o botão “BAIXAR *TARGETS*” leva o usuário a outra página do *site*, na qual é possível fazer o *download* dos targets, além de uma breve explicação de como utilizá-los (Figura 28). O botão “SAIR” fecha o aplicativo.

Figura 28 - Botão “BAIXAR TARGETS”



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

O aplicativo totalizou 28 telas, distribuídas entre o menu inicial com os botões “INICIAR”, “MODO LIVRE”, e suas respectivas telas subsequentes, os botões “BAIXAR *TARGETS*” e “SOBRE” direcionam o usuário para o site OrbiTAS, fora do aplicativo, o que

não contabiliza para o quantitativo final de telas. Ao pressionar o botão iniciar, o usuário apresenta uma experiência completa no que diz respeito ao estudo dos orbitais atômicos em RA a partir dos princípios programáticos da TAS. Já na opção modo livre, o usuário visualiza os orbitais em RA de forma direta, sem passar por todo o processo anterior. Na opção baixar *targets*, o usuário faz o *download* de todos os *targets* para os orbitais *s*, *p*, *d* e *f*. A aba “sobre”, traz informações sobre o aplicativo, bem como sua ficha técnica e manuais de uso para aluno e professor.

Após a produção de todas as telas e implementação dos *Targets* e objetos em RA, foram desenvolvidos alguns *scripts* de programação dentro do próprio *Unity* para a realização do sequenciamento das telas. Por fim, foi utilizado o *Android Studio*, um *kit* de ferramentas de desenvolvimento, que possibilita a conclusão do projeto em formato compatível com dispositivos *Android*, nas versões 9.0 ou mais recentes.

## **7.2 Elaboração da documentação do *software* educacional**

Neste subtópico é apresentada a documentação do *software*, com informações sobre *download* e instalação, a ficha técnica do produto, características de *hardware* necessárias e manuais de uso para aluno e professor, que estão disponíveis no site do aplicativo (<https://sites.google.com/view/orbitas> acesso: 28/05/23). Os manuais também estão dispostos no botão “SOBRE”, presente no menu inicial do aplicativo.

Para a instalação do app basta acessar o *Google Play Store* por um celular com sistema operacional *Android*, usar a caixa de pesquisa e buscar pelo o app “OrbiTAS”. Ao encontrar a logo do aplicativo, tocar sobre ela e em seguida no botão “Instalar”.

Outra forma de instalar o aplicativo é fazendo o *download* do seu arquivo *apk* por meio do site oficial. Após o *download*, é preciso buscar pelo arquivo no celular, normalmente na pasta de *downloads*, tocar sobre ele. Em seguida, caso apareça uma caixa de diálogo impedindo a instalação, é preciso permitir a instalação de aplicativo de “fontes desconhecidas” nas configurações do celular.

### **7.2.1 Ficha técnica do produto / Características do *hardware* necessárias**

Neste subtópico são apresentadas informações técnicas sobre o produto desenvolvido, detalhando a sua fundamentação teórica, objetivo e características de *hardwares* necessárias para o seu funcionamento adequado.

Nome do produto: OrbiTAS

Idioma: Português

Processador: armv7

Espaço de armazenamento: 92MB

Sistema operacional: *Android 6.0 (Marshmallow)* ou superior.

Memória RAM: 2GB

Descrição do produto: o *software* fundamenta-se nos princípios programáticos da Teoria da Aprendizagem Significativa proposta pelo psicólogo educacional David P. Ausubel, e utiliza-se da tecnologia de Realidade Aumentada como forma de tornar o tópico Orbitais Atômicos menos abstrato e mais próximo da realidade do usuário, com intuito de propiciar a construção de uma aprendizagem significativa.

Objetivo geral: Proporcionar uma aprendizagem significativa nos moldes ausubelianos do tópico Orbitais Atômicos por meio da tecnologia de Realidade Aumentada.

Descrição geral: o *software* foi desenvolvido como produto educacional para a dissertação final do Mestrado Profissional em Tecnologia Educacional da Universidade Federal do Ceará, desenvolvido por Glaylton Batista de Almeida sob orientação da professora Dr. Luciana de Lima.

### ***7.2.2 Guia de apoio pedagógico ao professor***

Esta subseção dispõe dos elementos do manual didático do aplicativo para o professor. Inicialmente é apresentada a motivação para este trabalho, seguida dos seus objetivos educacionais. Logo depois discute-se sobre a teoria pedagógica que fundamenta o desenvolvimento do *software*, e finaliza com uma proposta de aplicação didática em sala de aula.

#### ***7.2.2.1 Introdução***

Olá colega professor, esse aplicativo foi pensado e desenvolvido por uma dupla de professores, que assim como você, se preocupam com a aprendizagem do seu aluno e está sempre buscando se reinventar de forma a engajar seu aluno no processo educativo.

A motivação para o desenvolvimento deste aplicativo surgiu de uma dificuldade percebida em nossos alunos, e que até mesmo a gente já passou quando graduando, a dificuldade em compreender o tópico Orbitais Atômicos, por seu elevado nível de abstração. A compreensão desse assunto é muito relevante para que seja entendida a posição em que a ciência atualmente se encontra no que diz respeito à percepção submicroscópica da estrutura da matéria, outrossim compreender como ocorrem as ligações químicas e as propriedades dos materiais.

Uma das formas citadas por muitos pesquisadores para reduzir o nível de abstração é o uso de tecnologias digitais, que segundo Bacich, Tanzi Neto e Trevisani (2015) têm fundamental importância na aprendizagem, pois modificam o meio ao qual estão inseridas e são capazes de personalizar a forma de ensino tornando-a mais significativa.

Uma aplicação dessas tecnologias é a Realidade Aumentada, que segundo Queiroz, Oliveira e Rezende (2015), pode ser configurada como uma ferramenta de grande ajuda em sala de aula por sua capacidade de tornar os objetos de estudo mais concretos, por meio de simulações que suplementam o mundo real com objetos virtuais. Ainda de acordo com os autores, essa aproximação que a tecnologia digital propicia, permite ao aluno desenvolver habilidades investigativas, capacidade de levantar hipóteses, formular explicações e relacioná-las com conceitos vinculados à disciplina estudada.

Desta forma, acreditamos que a utilização de novas metodologias de ensino amparadas em teorias de aprendizagem e pelo uso das tecnologias digitais, como a Realidade Aumentada, podem se configurar como uma importante forma de motivar e engajar os alunos no processo de aprendizagem.

#### *7.2.2.2 Objetivos educacionais*

- Proporcionar uma Aprendizagem Significativa do tópico Orbitais Atômicos;
- Engajar/motivar o estudante no processo de aprendizagem;
- Utilizar a Realidade Aumentada amparada pela Teoria da Aprendizagem Significativa.

#### *7.2.2.3 Teoria pedagógica embasadora*

O presente aplicativo foi desenvolvido utilizando como aporte teórico as ideias de Ausubel e sua Teoria da Aprendizagem Significativa. Para Ausubel (2003), aprender de forma significativa é importante porque torna mais fácil para o aluno reter informações em sua estrutura cognitiva quando ancora um novo conhecimento a um conhecimento já existente.

Dessa forma, quando o aluno identifica conexões entre as novas informações com as que já possui encontra sentido e significado no que é estudado.

A aprendizagem significativa se torna eficaz pelas circunstâncias de sua não arbitrariedade e por seu caráter não-litera. A primeira significa que a informação prévia do aprendente deve ser relevante para a integração com a nova informação, e a não literalidade refere-se que a aprendizagem não depende especificamente da forma como foi ensinada, ao “pé da letra”.

Outro fator importante destacado pelo autor para que a aprendizagem se torne significativa é a predisposição do estudante pelo objeto de estudo, que haja um esforço de sua parte em fazer relações das novas informações aos conhecimentos relevantes de sua estrutura cognitiva.

Para que a aprendizagem seja significativa é necessário que no processo de ensino sejam utilizados dois processos cognitivos como princípios programáticos: a **diferenciação progressiva** e a **reconciliação integradora**. De acordo com Moreira (2012), o primeiro processo ocorre quando é atribuído um novo significado a um dado conceito já existente através de sucessivas interações, tornando esse conceito mais aprimorado.

Para Moreira (2012), o princípio da reconciliação integradora é um processo cognitivo que ocorre em conjunto com a diferenciação progressiva e resulta na capacidade de diferenciar conceitos consolidados dos novos conhecimentos que são aprendidos. Em outras palavras, os dois princípios compactuam com a ideia de um ensino que é proposto inicialmente pelos aspectos mais gerais e mais inclusivos que são diferenciados, tornando-os mais específicos, em seguida ocorrendo o processo inverso, partindo de um conceito específico para o mais geral, contrapondo a ideia de um ensino de forma linearizada, o qual os assuntos são apresentados em sequências programáticas do mais simples ao mais complexo.

No contexto da temática específica, na diferenciação progressiva o aluno deve trazer um novo significado ao termo “Orbital” caso já possua algum conhecimento prévio relacionado ao assunto ou a palavra em si, que se aproxima de “órbita”, presente no modelo atômico proposto por Rutherford em 1911. Dessa forma, é necessário partir do conceito geral de Orbital para conceitos específicos, os tipos de orbitais (*s*, *p*, *d*, *f*), e na reconciliação integradora realizar o oposto, sair dos tipos de orbitais (conceito específico) até a construção do conceito geral de Orbital.

Além dos dois principais princípios programáticos, a TAS também menciona a **organização sequencial** e a **consolidação** como forma de busca pela efetivação da aprendizagem, compondo, dessa forma, os Princípios Programáticos. A primeira, define que os



tópicos sejam trabalhados sequencialmente, utilizando-se uma ordem hierárquica, a qual os novos assuntos sejam dependentes dos anteriores, construindo-se mapas conceituais envolvendo todos os conceitos vinculados à ideia de Orbital.

Por fim, a consolidação é o princípio em que se permite verificar o domínio de conhecimentos a partir da resolução de situações-problema antes de serem introduzidos novos conhecimentos. Por exemplo, é possível trabalhar com substâncias presentes no cotidiano do aluno e, a partir da identificação dos elementos químicos que compõem essa determinada substância, realizar a distribuição eletrônica dos elétrons e verificar os tipos de orbitais que caracterizam os átomos desses elementos.

Esses Princípios Programáticos da teoria ausubeliana foram utilizados para o desenvolvimento do *software* de Realidade Aumentada, com o intuito de proporcionar o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa do tópico Orbitais Atômicos.

O aplicativo conta com uma sequência lógica de etapas pautadas nos moldes ausubelianos:

### **Captação dos conhecimentos prévios dos alunos**

Para a captação dos conhecimentos prévios dos alunos, são levantados questionamentos nas telas iniciais do aplicativo referentes à temática orbitais, que são utilizados posteriormente dentro do próprio aplicativo como um processo de autoavaliação do usuário.

### **Apresentação de elementos dos organizadores prévios**

A apresentação dos elementos dos organizadores prévios é realizada por meio de um vídeo, que é apresentado na tela posterior aos questionamentos iniciais. Esse vídeo apresenta curiosidades sobre o assunto, com possíveis aplicações no cotidiano do aluno, além de uma revisão de possíveis conceitos prévios construídos no Ensino Médio.

### **Atividades pautadas na diferenciação progressiva**

A diferenciação progressiva é trabalhada da seguinte forma, é apresentada uma tela inicial com o conceito geral de orbital, e a partir disso, são trabalhados conceitos específicos, os tipos de orbitais, para isso, são utilizadas as respostas aos questionamentos das telas iniciais, retornando um *feedback* positivo em caso de acertos, ou construtivos em caso de respostas errôneas.

### **Atividades pautadas na reconciliação integradora**

Para a reconciliação integradora são apresentados orbitais em RA, e a partir disso, o usuário será questionado quanto ao conceito geral de orbital, escolhendo uma justificativa para o motivo de sua resposta. Ao final dessa etapa, são apresentadas na tela, explicações quanto ao formato, causas e semelhanças entre os orbitais.

### **Atividades pautadas na organização sequencial**

Na organização sequencial, é apresentado um mapa conceitual com conceitos e palavras-chave contendo algumas lacunas que devem ser preenchidas pelos alunos.

### **Atividades pautadas na consolidação.**

E por último, na consolidação, o usuário deve resolver problemas envolvendo a abordagem dos conceitos de orbitais. Em caso de acerto, a explicação da resolução da questão será indicada, caso o aluno erre, são apresentadas dicas para que ele tente novamente até chegar na resposta correta.

#### *7.2.2.4 Sugestões para atividades pedagógicas*

Professor, você pode utilizar o aplicativo junto aos alunos quando estiver explicando a natureza eletrônica dos átomos e o modelo atômico atual. Além disso, pode ser utilizado em uma aula que antecede a abordagem da Teoria do Orbital Molecular ou Teoria da Ligação de Valência.

Em uma aula de 50 minutos, inicie fazendo questionamentos sobre tópicos importantes como *quantum* de uma grandeza, dualidade onda partícula, indefinição do movimento do elétron, números quânticos e o entendimento probabilístico de função de onda, em busca de verificar os conhecimentos prévios dos alunos necessários para a compreensão dos orbitais atômicos (em caso de pouco retorno por parte dos alunos faça uma breve revisão durante a aula e inicie a próxima etapa em uma aula posterior).

Em seguida, compartilhe com a turma o link para *download* do aplicativo, ou imprima o *QR Code* (APÊNDICE A) e o exponha no quadro ou na parede da sala. Explique para os alunos sobre as etapas do aplicativo e peça para que tenham muita atenção ao longo da utilização. É importante que a utilização do aplicativo seja individual, porém, é possível abrir exceções e se fazerem duplas ou trios por eventuais contratempos que possam ocorrer no momento da aula.

Distribua as imagens gatilho (APÊNDICE B) dos orbitais e diminua um pouco a iluminação da sala para que os alunos tenham uma experiência completa em Realidade Aumentada (o ideal é que as imagens sejam impressas em um papel mais espesso ou que sejam coladas em papelão, por exemplo), e em seguida peça para iniciarem a partir do botão “INICIAR”.

Transite pela sala e vá acompanhando o percurso dos alunos na utilização do aplicativo esclarecendo possíveis dúvidas. É importante que cada aluno realize as etapas no seu tempo, no entanto, você pode pedir para que os alunos que forem concluindo uma etapa aguardem os demais para avançarem juntos, é uma possibilidade.

Ao concluir as etapas, informe que no botão “MODO LIVRE”, o discente pode visualizar as superfícies limites dos orbitais em realidade aumentada de forma direta, apenas apontando a câmera para qualquer uma das imagens gatilho.

Por último, você professor, pode trazer novas questões pertinentes sobre o assunto e pode ir resolvendo de forma geral, junto com a turma.

### ***7.2.3 Manual de instruções para o aluno***

Este subtópico trata-se do manual de instruções para o aluno, também disponibilizado no botão “SOBRE” no menu inicial do aplicativo, com informações necessárias para interação adequada com o software, além de trazer elementos que buscam despertar o interesse do aluno para o assunto.

Caro usuário, para que você utilize o aplicativo da melhor forma possível é necessário um ambiente com luz neutra, nem escuro demais para que seja dificultado o reconhecimento das imagens gatilhos pelo *software*, nem muito claro para atrapalhar a visualização dos orbitais em realidade aumentada. Além disso, as imagens devem estar em perfeito estado e sem rasuras para que não haja problemas de reconhecimento pelo aplicativo. Este aplicativo foi desenvolvido com o intuito de proporcionar uma aprendizagem significativa sobre o tópico Orbitais Atômicos, cujo entendimento ajuda na compreensão do modelo atômico atual e da mecânica quântica, que explica o funcionamento de vários objetos presentes no nosso cotidiano, como por exemplo, os painéis fotovoltaicos para a geração de energia solar, os semicondutores presentes nos celulares, assim como as luzes LEDs, Lasers, supercondutores, Ressonância Nuclear Magnética entre outras.

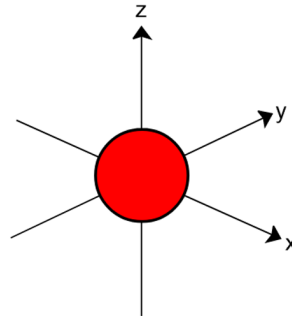
Os números quânticos que você aprende no ensino médio ( $n$ ,  $l$ ,  $m_l$ ) são funções derivadas da resolução da equação de Schrödinger e servem para descrever qualitativamente um orbital.

O número quântico principal ( $n$ ) determina a energia e o tamanho do orbital, portanto, quanto maior o valor de  $n$ , maior o orbital.

O número quântico secundário, ou momento angular do orbital ( $l$ ): vai representar o formato do orbital.

O número quântico magnético ( $m_l$ ): indica a orientação espacial do orbital ao longo dos eixos do plano. Os orbitais do tipo  $s$  de *sharp*, possuem formato esférico.

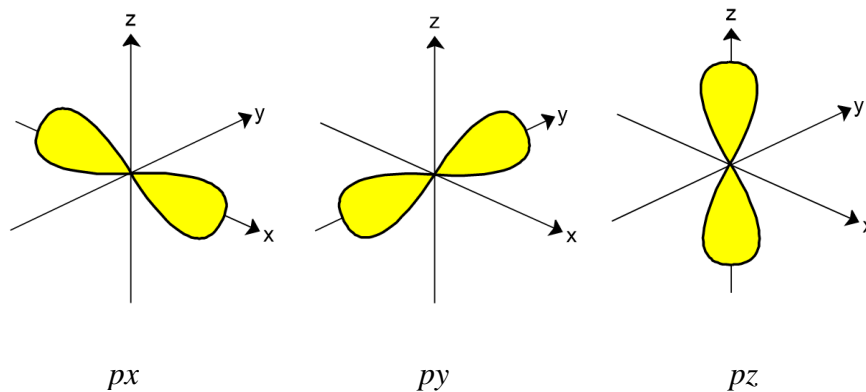
Figura 29 - Orbital  $s$



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Os orbitais do tipo  $p$ , de *principal*, possuem formato similar a alteres;

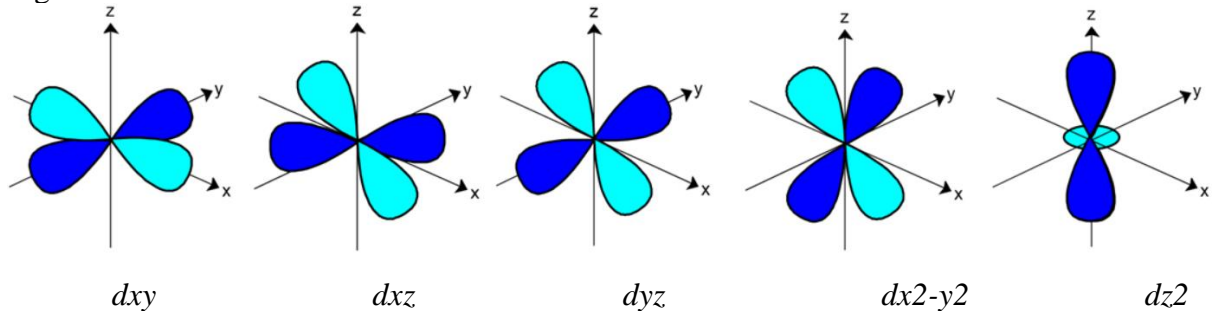
Figura 30 - Orbitais  $p$



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Os orbitais do tipo  $d$ , de *diffuse*, formam uma espécie de trevo de quatro folhas, enquanto um deles ( $d_{z^2}$ ) dois halteres com um disco ao centro.

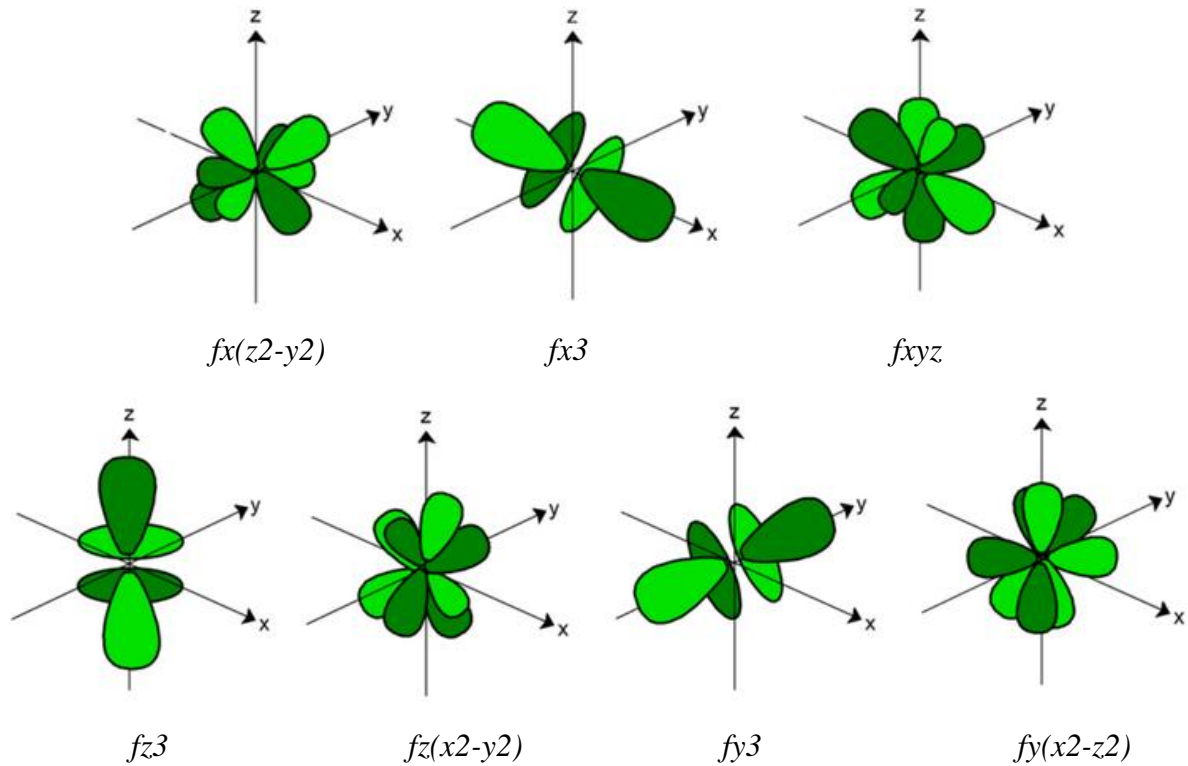
Figura 31 - Orbitais  $d$



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Já os orbitais do tipo  $f$ , de *fundamental*, apresentam esse formato bastante complexo.

Figura 32 - Orbitais  $f$



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Vale lembrar que as representações pictóricas dos orbitais são formas gráficas de funções matemáticas, que descrevem uma região com elevada probabilidade de se encontrar elétron(s), portanto NÃO são objetos reais.

### 7.3 Utilização, avaliação e manutenção do *software* educacional

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir dos questionários de usabilidade e de aprendizagem aplicados com os grupos da FAEC/UECE e da UVA. Estes resultados são analisados e comparados tendo como finalidade a avaliação do aplicativo desenvolvido nos aspectos funcionais e educacionais.

### 7.3.1 Resultados da Instituição 1 (FAEC/UECE)

A aplicação ocorreu no dia dezoito de novembro de dois mil e vinte e dois às 19h no prédio da FAEC, em que um total de 17 sujeitos participaram da avaliação do *software*, estes utilizaram o aplicativo por 50 minutos e depois responderam os questionários. A média de idade do grupo ficou em torno dos 23 anos, com idade mínima de 18 e máxima de 46 anos, com predominância do gênero masculino, distribuídos do segundo ao sétimo semestre, tendo um quantitativo significativamente maior de alunos do segundo semestre (Tabela 3).

Tabela 3 - Dados demográficos (FAEC)

VARIÁVEL	VALOR
Idade em anos (média)	23,06
Máxima	46
Mínima	18
Gênero (%)	
Feminino	6(35,29%)
Masculino	11(64,71%)
Semestre (%)	
Segundo	7(46,67%)
Terceiro	1(6,67%)
Quarto	2(13,33%)
Quinto	1(6,67%)
Sexto	2(13,33%)
Sétimo	2(13,33%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

No mesmo questionário prévio foi indagado ao usuário o seu conhecimento sobre Realidade Aumentada e Orbital Atômico, no qual 58,82% diz saber o que significa RA e 82,35% diz conhecer o significado de orbital atômico (Tabela 4).

Tabela 4 - Conhecimentos prévios RA e Orbital Atômico (FAEC)

VARIÁVEL	RESPOSTA (%)	
	Sim	Não
Você sabe o que é Realidade Aumentada?	10(58,82%)	7(41,18%)
Você sabe o que é um Orbital Atômico?	14(82,35%)	3(17,65%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Na sequência de cada questão foi solicitado ao usuário que apresentasse uma conceituação para os termos, diante do questionamento “Como você conceitua Realidade Aumentada? (Quadro 3).

Quadro 3 - Conceituação de Realidade Aumentada segundo os sujeitos da instituição I (FAEC)

Identificador	Resposta do sujeito
USER-F03	<i>“É a integração da realidade virtual para a visualização do mundo real.”</i>
USER-F05	<i>“Trazer para a visão aquilo que não está ao alcance dos olhos, também mostrar o que não se podia imaginar.”</i>
USER-F07	<i>“É uma tecnologia que permite sobrepor elementos virtuais a nossa visão de realidade.”</i>
USER-F08	<i>“Uma tecnologia imersiva que transporta o usuário para um novo ambiente virtual.”</i>
USER-F10	<i>“Realidade aumentada é uma tecnologia que permite sobrepor, ou interagir elementos visuais á nossa visão de realidade.”</i>
USER-F11	<i>“Algo que posso me levar a um lugar que não posso chegar por meios naturais.”</i>
USER-F12	<i>“A possibilidade da gente ver algo virtual de forma como se estivesse no físico.”</i>
USER-F13	<i>“Uma maneira de observar as dimensões dos objetos.”</i>
USER-F14	<i>“Como uma forma digital de representação da realidade.”</i>
USER-F15	<i>“A mistura do tecnológico com o real, tendo uma nova forma de ver o meio em que está inserido.”</i>
USER-F17	<i>“Visualização de informações digitais no contexto físico.”</i>

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Verifica-se que boa parte dos usuários (F03, F05, F07, F10, F12, F15 e F17) apresentam uma definição de RA que se aproxima das apresentadas por Kirner e Siscoutto (2007, p. 10): “enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico, funcionando em tempo real” e Azuma *et al.* (2001, p. 43): “complementa o mundo real com os objetos virtuais (gerados por computador) que parecem coexistir no mesmo espaço do mundo real”.

No entanto, dois usuários (F08 e F11) trazem definições que mais se aproximam da definição de RV do que de RA, pois denotam uma ideia de imersão do usuário em um ambiente virtual, como na definição de RV sintetizada por Kirner e Siscoutto: “[...] interface avançada

para aplicações computacionais, que permite ao usuário navegar e interagir, em tempo real, com um ambiente tridimensional gerado por computador [...]” Kirner e Siscoutto (2007, p. 9).

Bimber (2004 *apud* Kirner e Siscoutto, 2007), compara RA e RV apontando que a RA enriquece o mundo real com objetos virtuais e necessita de um mecanismo para combinar o real e o virtual, enquanto a RV é totalmente gerada por um computador precisando de um mecanismo para imergir o usuário ao mundo virtual.

Em relação ao conceito de Orbital Atômico, os sujeitos caracterizam da seguinte forma, diante da resposta à pergunta: “Como você conceituaria Orbital Atômico?” (Quadro 4).

Quadro 4 - Conceituação de Orbital Atômico segundo os sujeitos da instituição I (FAEC)

Identificador	Resposta do sujeito
USER-F02	<i>“É a denominação dos estados estacionários da função de onda um elétron.”</i>
USER-F03	<i>“Orbital atômico é a função de onda que descreve o comportamento dos elétrons no espaço.”</i>
USER-F05	<i>“Uma função de onda que descreve o comportamento do elétron no espaço.”</i>
USER-F06	<i>“Seria uma denominação dos estados estacionários da função de onda de um elétron.”</i>
USER-F07	<i>“Função de onda, comporta elétrons.”</i>
USER-F08	<i>“Função de onda, comporta elétrons.”</i>
USER-F09	<i>“Descreve o comportamento do elétron no espaço, descreve o movimento dos elétrons em torno do núcleo.”</i>
USER-F10	<i>“Orbital atômico é a função de onda que descreve o comportamento do elétron no espaço.”</i>
USER-F11	<i>“Onde estão os elétrons.”</i>
USER-F12	<i>“É o espaço onde possivelmente os elétrons são encontrados.”</i>
USER-F13	<i>“Descreve o comportamento do elétron no espaço.”</i>
USER-F14	<i>“Demonstram os estados estacionários de uma função de onda do elétron.”</i>
USER-F15	<i>“O orbital atômico são os diferentes tipos de comportamento do elétron ao redor do núcleo gerando projeções.”</i>
USER-F17	<i>“Estados estacionários da função de onda de um elétron.”</i>

Fonte: elaborado pelo autor (2023).



Denota-se a prevalência da definição Matemática de Orbital Atômico nas respostas dos estudantes pelo uso recorrente do termo “função de onda” (F02, F03, F05, F06, F14 e F17), Lima e Silva (2019) atribuem a utilização do termo ao ensino de Química Geral, que adota o conceito matemático para Orbital, assim como na definição de Brown *et al.* (2016, p. 239) “A resolução da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio produz um conjunto de funções de onda, chamadas de orbitais” e Atkins, Jones e Laverman (2018, p.31) “As funções de onda dos elétrons nos átomos são chamadas de orbitais atômicos”.

Já nas respostas dos usuários F09, F11, F12, F13 e F15 infere-se uma aproximação com a definição Físico-Química para Orbital, por trazerem abordagens que consideram o Orbital uma região no espaço onde se encontram os elétrons, apesar de não considerarem o caráter probabilístico, com exceção do usuário F12, que utiliza a palavra “possivelmente”, para descrever a região onde os elétrons possivelmente são encontrados.

O sujeito F10 é o único que apresenta uma resposta que mais se aproxima da ideia de orbital, com seu duplo conceito, atribuindo o caráter matemático e físico-químico, simultaneamente. Lima e Silva (2019) destacam que uma possível justificativa para a dificuldade que os alunos apresentam na conceituação de Orbital ocorre porque o assunto é pouco trabalhado em Química Fundamental e Química Orgânica em decorrência da grande quantidade de conteúdos a serem lecionados nestas disciplinas, ou pelo fato de os livros didáticos não deixarem claro a dupla conceituação do termo Orbital Atômico e a relação entre estes.

Em relação à avaliação de usabilidade com o SUS foi aplicada imediatamente após o uso do aplicativo, assim como sugere Brooke (1996). Para se obter o *score* médio do SUS as questões ímpares tiveram seus valores subtraídos por 1, e multiplicados pela frequência de marcações. Por exemplo, na primeira afirmativa o cálculo foi realizado da seguinte forma  $(1-1)0 + (2-1)2 + (3-1)2 + (4-1)3 + (5-1)10$ , que resultou no número 55, em seguida esse valor foi somado com os resultados das demais afirmativas ímpares e dividido pelo número total de respondentes (17), resultando em 16,71.

As afirmativas pares foram subtraídas de 5 e multiplicadas pela frequência de marcações. Por exemplo, na segunda afirmativa, o cálculo foi realizado da seguinte forma  $(5-1)7 + (5-2)7 + (5-3)1 + (5-4)2 + (5-5)0$ , resultando em 53, que foi somado com os resultados das demais afirmativas pares e divididas pelo número total de respondentes, que resultou em 16,59.

O resultado das afirmativas ímpares (16,71), foi somado com os resultados das afirmativas pares (16,59) e multiplicado por 2,5. Dessa forma, a pontuação para o aplicativo de acordo com o primeiro grupo (FAEC) que realizou a avaliação foi de 83,24.

A partir do Gráfico 1 é possível analisar os itens individualmente comparados à média do SUS, apesar de Brooke (2013) mensurar que as afirmações individuais não possuem um valor de diagnóstico de um sistema assim como a média do SUS. Verificam-se que as afirmativas 3 e 8 possuem um peso mais significativo para a média final em comparação com as demais, e que nenhum dos itens estaria abaixo de 70,00, considerando a média obtida a partir dos estudos de Bangor *et al.* (2009) e Sauro e Lewis, (2011) com o SUS.

Gráfico 1 - Pontuação SUS afirmativas individuais (FAEC)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

De acordo com Tenório *et al.* (2011), esses itens do SUS podem ser reconhecidos nos cinco componentes de qualidade de um sistema indicados por Nielsen (1994). A terceira afirmativa “Eu achei o aplicativo fácil de usar”, relaciona-se diretamente com o componente “Facilidade de aprendizagem”, e a oitava afirmativa “Eu achei o aplicativo atrapalhado de usar” relaciona-se com o componente “Eficiência”.

De acordo com Nielsen (1994), o sistema deve ser fácil de aprender para que o usuário possa rapidamente começar a executar tarefas, e eficiência diz respeito à rapidez com que o usuário executa as tarefas após aprender a utilizar o sistema.

É válido mencionar que as pontuações do SUS indicadas no Gráfico 1, apesar de variarem de 0 a 100 não são porcentagens, e sim as contribuições individuais para o cálculo da média SUS assim como sugerido por Brooke (2013). Na Tabela 5 é possível verificar o número de marcações nas afirmativas positivas e negativas pelo grupo de estudantes da FAEC.

Tabela 5 - Percentual afirmativas positivas e negativas (FAEC)

Variável	Escala Likert SUS				
	1. Discordo Totalmente	2	3	4	5. Concordo Totalmente
<b>Afirmativas Positivas</b>					
1. Eu acho que gostaria de usar esse aplicativo com frequência.	0(0%)	2(11,76%)	2(11,76%)	3(17,65%)	10(58,82%)
3. Eu achei o aplicativo fácil de usar.	0(0%)	0(0%)	0(0%)	3(17,65%)	14(82,35%)
5. Eu acho que várias funções do aplicativo estão muito bem integradas.	1(5,88%)	1(5,88%)	0(0%)	4(23,53%)	11(64,71%)
7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse aplicativo rapidamente.	1(5,88%)	2(11,76%)	2(11,76%)	1(5,88%)	11(64,71%)
9. Eu me senti confiante ao usar o aplicativo.	0(0%)	2(11,76%)	1(5,88%)	6(35,29%)	8(47,06%)
<b>Afirmativas Negativas</b>					
2. Eu acho o aplicativo desnecessariamente complexo.	7(41,18%)	7(41,18%)	1(5,88%)	2(11,76%)	0(0%)
4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o aplicativo.	11(64,71%)	3(17,65%)	1(5,88%)	0(0%)	2(11,76%)
6. Eu acho que o aplicativo apresenta muita inconsistência.	10(58,82%)	3(17,65%)	4(23,83)	0(0%)	0(0%)
8. Eu achei o aplicativo atrapalhado de usar.	16(94,12%)	0(0%)	0(0%)	1(5,88%)	0(0%)

10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o aplicativo.	8(47,06%)	4(23,53%)	4(23,53%)	0(0%)	1(5,88%)
--	-----------	-----------	-----------	-------	----------

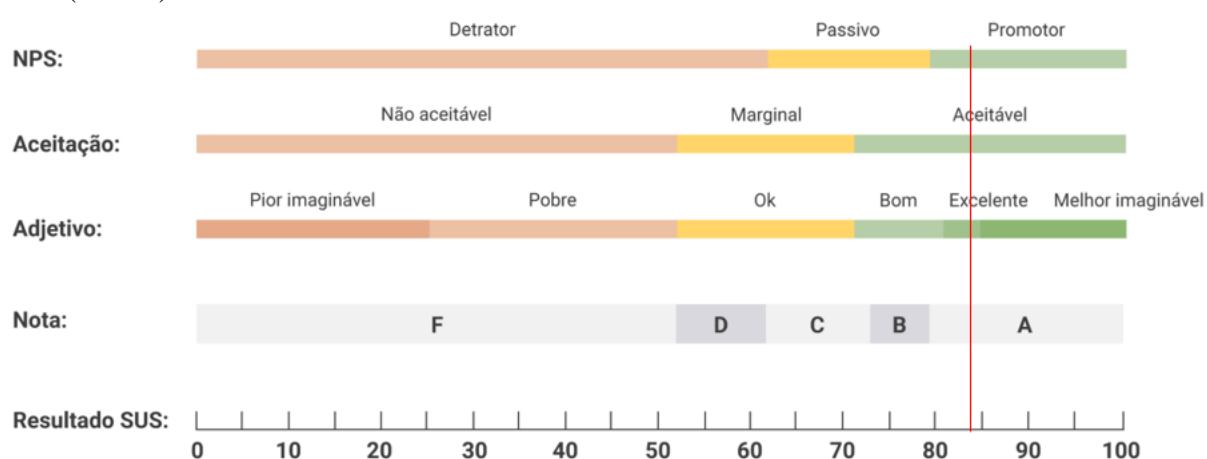
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Sauro (2011), a partir de um estudo com mais de cinco mil trabalhos que utilizaram o SUS para avaliação de produtos tecnológicos, criou uma relação entre a pontuação do SUS e o NPS, que basicamente consiste na probabilidade de o usuário recomendar o *software* para algum amigo. Segundo o autor, quando o usuário devolve um *score* 82, com margem de mais ou menos 5, este tende a ser “promotor”.

A partir de exaustivos estudos com avaliações de usabilidade, Bangor, Kortum e Miller (2009) criaram uma escala que classifica o produto tecnológico de acordo com o valor obtido no SUS, fornecendo uma nota com uma letra (F, D, C, B e A), assim como nas grandes universidades e também com um adjetivo (pior imaginável, pobre, ok, bom, excelente e melhor imaginável).

Desse modo, de acordo com essas classificações, o resultado obtido para o *software* encontra-se dentro do nível de aceitação, com nota “A” e adjetivo “excelente”, além de estar dentro do NPS “promotor”, em que o usuário recomendaria o aplicativo para algum amigo (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Nota, adjetivo, aceitabilidade e categorias NPS associadas a pontuações brutas do SUS (FAEC)



Fonte: Adaptado de Bangor, Kortum e Miller (2009).

Outro ponto a destacar foi que mesmo o questionário não oferecendo um espaço para os usuários deixarem suas impressões sobre o aplicativo, alguns usuários escreveram no

verso do questionário pontos como sugestões de melhorias, questionamentos e aspectos positivos, destacadas no Quadro 5:

Quadro 5 - Comentários a respeito do aplicativo, Instituição I (FAEC)

Identificador	Resposta do sujeito
USER-F01	<i>“Acho que esse app deveria ser usado em sala de aula. Ótimo aplicativo.”</i>
USER-F03	<i>“Na minha concepção esse app deveria ser usado em salas de aula.”</i>
USER-F08	<i>“Sugestões: modo escuro / modo de acessibilidade (ex. leitura do texto) / configurações de som / Função "voltar" na aba de questões sobre orbitais / Ao clicar dar uma definição das abas.”</i>
USER-F11	<i>“Se eu precisar fechar o aplicativo, quando voltar ele estará no mesmo ponto de onde parei? / Quando usar o menu entrar em um ícone que eu já entrei, posso voltar ao menu sem precisar responder todas as questões?”</i>
USER-F15	<i>“O aplicativo futuramente poderia ter representações do movimento e comportamento dos átomos, dependendo da ligação atômica irá formar formas geométricas, o movimento dos eletrons na eletrosfera, tipo como esses átomos estariam no estado ambiente e como ele iria se comportar se fosse visto.”</i>

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

As sugestões deixadas pelo usuário F08 são interessantes, como as configurações de som, por exemplo, durante a aplicação o sujeito F03 questionou que a música de fundo poderia ser retirada no momento em que há explicações de conteúdo dentro do aplicativo, enquanto outro usuário, F15, retrucou afirmando ter gostado do som e que este pode auxiliar no momento de aprendizagem, sendo assim, um botão que permite configurar os sons do *app* é necessário e será incluso na versão seguinte do aplicativo.

Uma definição prévia do que será apresentado em cada botão também é válida, apesar de todas essas explicações serem apresentadas nos manuais presentes no botão “SOBRE”, no menu inicial do aplicativo.

O questionamento do USER-F12 é pertinente. Caso o aplicativo seja minimizado é possível continuar o sequenciamento de onde parou. No entanto, ao fechar o *app* os princípios programáticos serão reiniciados, desde o levantamento dos conhecimentos prévios. A ideia é que o sequenciamento seja feito de uma só vez, já que demanda poucos minutos e a conclusão de um princípio é necessária para o início do outro.

Utilizando a escala Likert foi criado outro questionário, também aplicado imediatamente após o uso do *software*, este, assim como o questionário de usabilidade de Brooke contém afirmativas positivas e negativas intercaladas, ou com definições opostas, para evitar vieses e fazer com que os respondentes leiam cada declaração, demandando um esforço para pensar se concorda ou discorda com cada item (BROOKE, 2013) (Tabela 6).

Tabela 6 - Questionário de aprendizagem (FAEC)

Variável	Escala Likert				
	1. Discordo Totalmente	2	3	4	5. Concordo Totalmente
1. Eu acho que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos.	0(0%)	0(0%)	0(0%)	1(5,88%)	16(94,12%)
2. Eu acho que o aplicativo dificulta a compreensão dos orbitais atômicos.	16(94,12%)	1(5,88%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
3. Eu acho que o entendimento dos orbitais atômicos é facilitado pelo uso da realidade aumentada.	0(0%)	0(0%)	0(0%)	4(23,53%)	13(76,47%)
4. Eu acho que a realidade aumentada atrapalha na compreensão dos orbitais atômicos.	17(100%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
5. Eu compreendo orbital atômico como uma função de onda que descreve uma probabilidade de densidade eletrônica.	0(0%)	0(0%)	3(17,65%)	8(47,06%)	6(35,29%)
6. Eu compreendo orbital atômico como uma órbita que comporta elétrons.	0(0%)	0(0%)	1(5,88%)	9(52,94%)	7(41,18%)
7. Eu compreendo que um orbital <i>s</i> possui formato esférico.	0(0%)	0(0%)	1(5,88%)	1(5,88%)	15(88,24%)
8. Eu compreendo que um orbital <i>s</i> possui formato de haltere.	10(58,82%)	0(0%)	2(11,76%)	2(11,76%)	3(17,65%)

9. Eu compreendo que os orbitais $p$ podem ser classificados em $p_x$ , $p_y$ e $p_z$ .	9(52,94%)	1(5,88%)	3(17,65%)	1(5,88%)	3(17,65%)
10. Eu compreendo que os orbitais $p$ podem ser classificados em $p_x$ , $p_y$ e $p_z$ .	2(11,76%)	1(5,88%)	4(23,53%)	0(0%)	10(58,82%)
11. Eu compreendo que o orbital $d_{xy}$ é um orbital do tipo $d$ .	1(5,88%)	0(0%)	3(17,65%)	1(5,88%)	12(70,59%)
12. Eu compreendo que o orbital $d_{xy}$ é um orbital do tipo $s$ .	8(47,06%)	1(5,88%)	2(11,76%)	1(5,88%)	5(29,41%)
13. Eu compreendo que dentre os orbitais $s$ , $p$ , $d$ e $f$ , os orbitais do tipo $f$ são os que possuem mais variações.	1(5,88%)	0(0%)	4(23,53%)	1(5,88%)	11(64,71%)
14. Eu compreendo que dentre os orbitais $s$ , $p$ , $d$ e $f$ , os orbitais do tipo $p$ são os que possuem mais variações.	8(47,06%)	2(11,76%)	3(17,65%)	1(5,88%)	3(17,65%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

As afirmativas 1 e 2 demonstram a confiabilidade dos resultados, visto que, são especificamente opostas e os resultados coincidem, o quantitativo que concorda que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos é o mesmo que discorda que o aplicativo dificulta a compreensão dos orbitais.

A partir da análise das afirmativas 3 e 4, que destacam a contribuição da RA para o entendimento dos Orbitais Atômicos, verificou-se que 100% dos usuários concordam que a RA ajuda na compreensão dos Orbitais. Esta tecnologia, assim como a RV, são importantes recursos que podem auxiliar o professor de Química, engajando os estudantes e tornando as aulas mais dinâmicas, pois possuem a capacidade de reduzir a abstração de fenômenos e a manipulação de modelos espaciais (ALMEIDA, LIMA, BARROS FILHO, 2023).

A afirmativa 5, que traz uma definição correta para orbital apresentou 82,35% dos respondentes em concordância, no entanto, verifica-se na afirmativa 6, que o *software* talvez não tenha sido eficaz no que diz respeito à conceituação de orbital, já que 94,12% dos usuários

concordam com a afirmativa que considera o orbital atômico como uma órbita que comporta elétrons.

Tsarpalis e Papaphots (2009) destacam que muitos alunos ainda não conseguiram perceber a natureza probabilística dos elétrons no modelo com orbitais, e assumem uma compreensão determinista do movimento dos elétrons, assim como nos modelos anteriores propostos para o átomo. Os autores destacam que a palavra orbital é assumida como sinônimo de “órbita”, o que induz o aluno a considerar os elétrons girando em órbitas em torno do núcleo atômico.

Das afirmativas 7 a 14 foram tratadas questões referentes aos tipos de orbitais, sendo 7 e 8 para orbitais do tipo *s*, 9 e 10 para orbitais do tipo *p*, 11 e 12 para orbitais do tipo *d*, e 13 e 14 para orbitais do tipo *f*. Os dados mostram que a afirmativa 12 (eu compreendo que o orbital *dxy* é um orbital do tipo *s*) resultou na maior incidência de erros, com 35,29% de marcações, seguida da afirmativa 8 (eu compreendo que um orbital *s* possui formato de haltere) com 29,41% das marcações concordando erroneamente com o item.

No entanto, os dados coletados no item 7 (eu compreendo que um orbital *s* possui formato esférico), apontam que 94,12% dos usuários já haviam considerado corretamente o orbital *s* com formato esférico, o que pode indicar uma falsa ideia para esses sujeitos de que os orbitais *s*, assim como os orbitais *d* e *f*, podem apresentar variados formatos, ou cometeram descuidos na leitura e marcação das afirmativas.

As afirmativas 9 e 10, apesar de apresentarem menos erros (23,53% e 17,65% respectivamente), apenas 58,82% dos sujeitos foram assertivos em tais itens, com o restante (17,65% e 23,53%) marcando o centro da escala, demonstrando insegurança. Já as afirmativas referentes aos orbitais *f*, 13 e 14, apresentaram 70,59% e 58,82% de acertos, e 23,53% e 17,65%, de marcações no centro da escala, respectivamente.

O item 12, em que os sujeitos mais cometeram erros trata-se de uma questão de nomenclatura, em que é preciso associar o nome ao tipo de orbital, já o item 8 trata-se da associação do termo com o formato do orbital. Essa dificuldade em compreender e rotular os tipos de orbitais, ocorre em decorrência da nomenclatura parecer arbitrária quando não se entende que os termos estão relacionados aos tamanhos, geometrias e disposições dos orbitais (TABER, 2002).



### 7.3.2 Resultados da Instituição II (UVA)

A aplicação e avaliação do *software* na UVA ocorreu às 18h30min de forma remota via *Google Meet* no dia quinze de dezembro de dois mil e vinte e dois, com o Grupo de Estudos sobre a Formação de Educadores Químicos (GEFEQ). Desta vez foi criado um evento no site da instituição aberto a alunos e graduados em Química. Um total de 17 sujeitos participaram do momento, que após responderem ao questionário inicial foram orientados a fazerem o *download* do aplicativo e a utilizarem-no por 50 minutos, e por fim responderem aos questionários de usabilidade e aprendizagem.

A média de idade do grupo ficou em torno dos 24 anos, com mínima de 20 e máxima de 31 anos, também com predominância do gênero masculino, distribuídos do segundo ao nono semestre, tendo um quantitativo significativamente maior de alunos do quinto e nono semestres, com destaque para dois usuários que já concluíram o curso de Licenciatura em Química (Tabela 7).

Tabela 7 - Dados demográficos (UVA)

VARIÁVEL	VALOR
Idade em anos (média)	24,71
Máxima	31
Mínima	20
Gênero (%)	
Feminino	7(41,18%)
Masculino	10(58,82%)
Semestre (%)	
Segundo	1(6,67%)
Quinto	5(33,33%)
Oitavo	2(13,33%)
Nono	5(33,33%)
Concluído	2(13,33%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Quando questionado ao grupo do seu conhecimento sobre Realidade Aumentada e Orbital Atômico, verificou-se que 64,71% responderam saber o que é RA enquanto 94,12% dizem saber o que é um orbital atômico (Tabela 8).

Tabela 8 - Conhecimentos prévios RA e Orbital Atômico (UVA)

VARIÁVEL	RESPOSTA (%)	
	Sim	Não
Você sabe o que é Realidade Aumentada?	11(64,71%)	6(35,29%)
Você sabe o que é um Orbital Atômico?	16(94,12%)	1(5,88%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Ao definirem o conceito de Realidade Aumentada a partir da pergunta: “Como você conceituaria Realidade Aumentada?” os sujeitos apresentaram respostas relevantes (Quadro 6).

Quadro 6 - Conceituação de Realidade Aumentada segundo os sujeitos da instituição II (UVA)

Identificador	Resposta do sujeito
USER-U03	“Misturas de imagens virtuais com o mundo real.”
USER-U04	“Que sobrepõe elementos virtuais.”
USER-U06	“Um novo mundo de possibilidades.”
USER-U07	“Uma forma 3d de visualizar virtualmente detalhes de objetos.”
USER-U08	“4D.”
USER-U09	“Uma visão trimensional de algo.”
USER-U10	“É uma interação entre o ambiente virtual e o ambiente real.”
USER-U11	“Utilização da tecnologia para materializar digitalmente itens interativos em que os mesmos possam ser utilizados de diversas formas diferentes.”
USER-U12	“Uma forma de analisar os orbitais atômicos de perto.”
USER-U13	“Uma tecnologia que permite a pessoa observar elementos virtuais específicos.”
USER-U14	“Trata-se de uma nova tecnologia que projeta imagens em 3D de maneira que o sujeito seja exposto a uma visão de espaço totalmente real, que foi programado previamente por software.”

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A análise das respostas permite inferir que 54,54% dos 11 sujeitos que responderam a questão parecem mais indicar aplicações da RA do que apresentarem uma definição, como nas respostas dos usuários U07, U09 e U13, por exemplo. Já as respostas trazidas por U03,

U10, U11, apesar de curtas, demonstram uma certa aproximação com as definições apresentadas por Kirner e Siscoutto (2007), visto que, os usuários compreendem que ocorre uma “suplementação” do mundo real com objetos virtuais.

Em relação ao conceito de Orbital Atômico, os sujeitos trouxeram definições importantes quando questionados: “Como você conceituaria Orbital Atômico?” (Quadro 7).

Quadro 7 - Definição de Orbital Atômico segundo os sujeitos da instituição II (UVA)

Identificador	Resposta do sujeito
USER-U01	<i>“É o local onde o elétron circunda o núcleo atômico.”</i>
USER-U03	<i>“Funções de onda que descreve o comportamento do elétron.”</i>
USER-U04	<i>“Onde descreve o comportamento do elétron no espaço.”</i>
USER-U05	<i>“Região onde é provável que um elétron seja encontrado.”</i>
USER-U07	<i>“Provável lugar onde pode-se encontrar o elétron.”</i>
USER-U08	<i>“É uma função de onda que descreve o comportamento do elétron no espaço.”</i>
USER-U09	<i>“Orbital atômico seria o estado estacionário dos elétrons presentes no átomo.”</i>
USER-U10	<i>“O orbital atômico é uma função que descreve o comportamento do elétron em torno do núcleo.”</i>
USER-U11	<i>“Basicamente é a função que descreve o comportamento de um elétron no espaço.”</i>
USER-U12	<i>“O orbital atômico é uma descrição da mecânica quântica para entender o movimento do elétron nos níveis de energia do átomo”.</i>
USER-U13	<i>“Região de máxima probabilidade de se encontrar um elétron.”</i>

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Essa pergunta subjetiva contou com resposta de 64,71% dos usuários, e teve a maioria das respostas indicando a prevalência da definição Físico-Química (usuários U01, U04, U05, U07 e U13) pelo uso dos termos “local”, “onde”, “região” e “lugar” para indicar uma posição do elétron. No entanto, destes, apenas os sujeitos U05, U07 e U13 utilizaram palavras que denotam o caráter probabilístico desta definição.

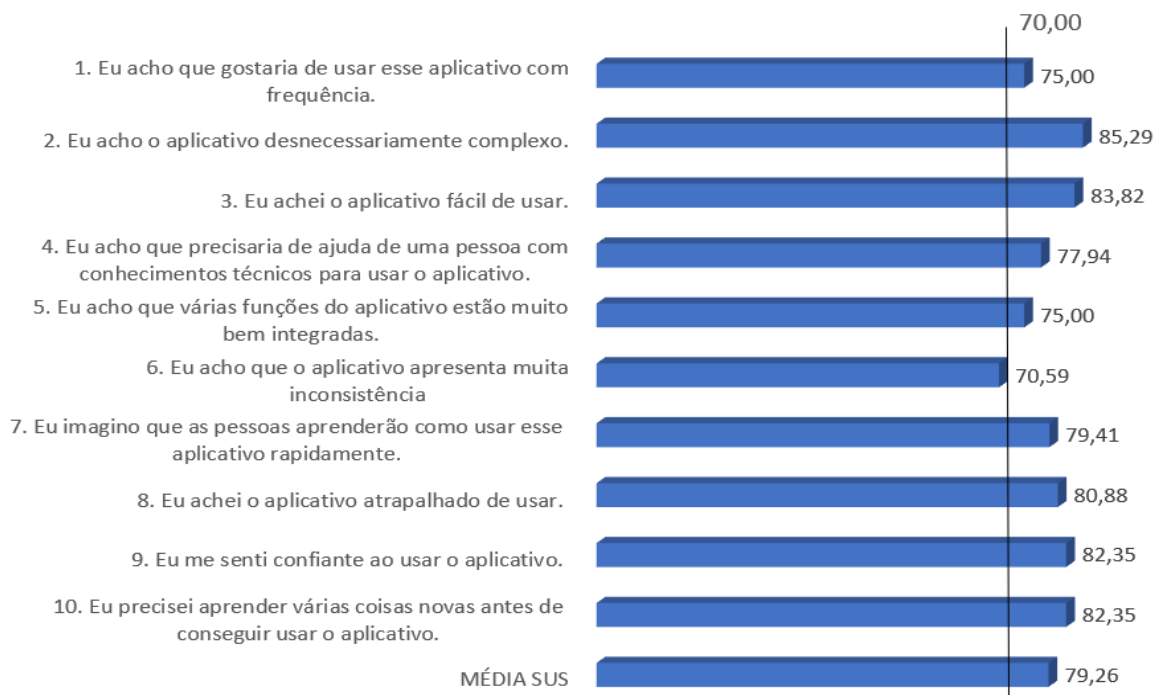
Apenas dois usuários (U03 e U12) se aproximaram da definição Matemática para Orbital, pelo uso dos termos “função de onda” e “movimento do elétron”, enquanto outros três

sujeitos (U08, U10 e U11) trouxeram uma definição híbrida, com características Matemática e Físico-Química. A definição do U09 não foi incluída nas demais por não possuir nenhuma das características.

Após responderem ao questionário inicial e utilizarem o aplicativo durante um tempo de 50 minutos, os envolvidos avaliaram a usabilidade e responderam ao questionário de aprendizagem, todos via *Google Forms*. O cálculo da média SUS foi realizado da mesma forma que com o primeiro grupo. As afirmativas positivas resultaram em 15,82, enquanto as afirmativas negativas resultaram em 15,88. Esses valores foram somados e multiplicados por 2,5, totalizando um *score* SUS de 79,26 com o grupo UVA.

Cada afirmativa aparece individualmente e é comparada com a média SUS obtida (79,26) e também com o valor mínimo de pontuação mencionado na literatura (Bangor *et al.* 2009; Sauro e Lewis, 2011) (Gráfico 3), para um sistema com um bom nível de usabilidade. Verifica-se que as afirmativas 2 e 3 contribuem com mais significância para o *score* final, enquanto a afirmativa 6 apresenta a menor média individual, ficando um pouco acima do valor mínimo indicado na literatura (70,00).

Gráfico 3 - Pontuação SUS afirmativas individuais (UVA)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Fazendo o reconhecimento desses itens a partir dos componentes de qualidade de Nielsen (1994), assim como indicado por Tenório *et al.* (2011), é possível inferir que o *software* apresenta facilidade de memorização e de aprendizagem, componentes reconhecidos pelas afirmativas 2 e 3. Dessa forma, os usuários caracterizam o sistema como fácil para aprender a manuseá-lo, de modo que um usuário casual seja capaz de retornar ao sistema após algum período de não ter usado, sem ter que aprender tudo novamente (NIELSEN, 1994).

De acordo com essa análise, um aspecto que poderia ser aprimorado no sistema estaria relacionado com a sua eficiência e facilidade na recuperação de erros, já que o item 6, o qual apresentou menor média dentre os 10 itens, é reconhecido nos componentes “eficiência” e “minimização de erros”.

Destaca-se mais uma vez que as notas individuais mostradas anteriormente não se tratam de porcentagens, são baseadas na escala SUS. Na Tabela 9 verifica-se o quantitativo de marcações e seu percentual nas afirmativas positivas e negativas com o grupo de usuários da UVA.

Tabela 9 - Percentual afirmativas positivas e negativas (UVA)

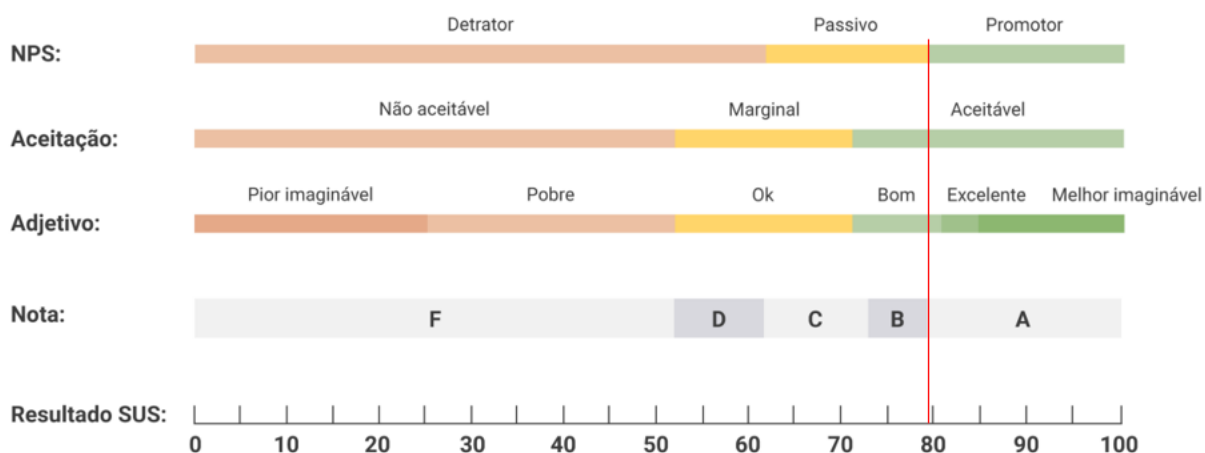
Afirmativa	Escala Likert SUS				
	1. Discordo Totalmente	2	3	4	5. Concordo Totalmente
<b>Afirmativas Positivas</b>					
1. Eu acho que gostaria de usar esse aplicativo com frequência.	0(0%)	1(5,88%)	4(23,53%)	6(35,29%)	6(35,29%)
3. Eu achei o aplicativo fácil de usar.	1(5,88%)	0(0%)	1(5,88%)	5(29,41%)	10(58,82%)
5. Eu acho que várias funções do aplicativo estão muito bem integradas.	1(5,88%)	1(5,88%)	3(17,65%)	4(23,53%)	8(47,06%)
7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse aplicativo rapidamente.	1(5,88%)	0(0%)	2(11,76%)	6(35,29%)	8(47,06%)
9. Eu me senti confiante ao usar o aplicativo.	1(5,88%)	1(5,88%)	0(0%)	5(29,41%)	10(58,82%)
<b>Afirmativas Negativas</b>					
2. Eu acho o aplicativo desnecessariamente complexo.	11(64,71%)	3(17,65%)	2(11,76%)	1(5,88%)	0(0%)

4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o aplicativo.	11(64,71%)	2(11,76%)	1(5,88%)	1(5,88%)	2(11,76%)
6. Eu acho que o aplicativo apresenta muita inconsistência.	8(47,06%)	4(23,53%)	1(5,88%)	2(11,76%)	2(11,76%)
8. Eu achei o aplicativo atrapalhado de usar.	13(76,47%)	1(5,88%)	0(0%)	0(0%)	3(17,65%)
10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o aplicativo.	11(64,71%)	2(11,76%)	3(17,65%)	0(0%)	1(5,88%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Utilizando os trabalhos de Sauro (2011) e Bangor, Kortum e Miller (2009) para relacionar o *score* SUS (79,26) com o NPS, é possível caracterizar o grupo como “promotor” do *app* utilizando a margem de mais ou menos 5, com nota A-, próximo de B, e adjetivo “bom”, estando dentro do padrão de aceitabilidade (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Nota, adjetivo, aceitabilidade e categorias NPS associadas a pontuações brutas do SUS (UVA)



Fonte: Adaptado de Bangor, Kortum e Miller (2009).

Na aplicação com o segundo grupo, foi criado um espaço no questionário para que os usuários deixassem suas impressões sobre o aplicativo, aspectos positivos e/ou negativos, bem como possíveis sugestões de melhorias (Quadro 8).

Quadro 8 - Comentários a respeito do aplicativo, Instituição II (UVA)

Identificador	Resposta do sujeito
USER-U02	<i>“Em análise, o App se mostrou bastante interessante e sucinto, entrega as informações de maneiras que os alunos se ambientem no assunto antes de usar, tem um design simples e arrojado que se mostra bem intuitivo e visualmente confortável, a realidade aumentada precisa ser melhorada na questão da visualização de forma que possa ser rotacionado o objeto ao qual esteja sendo projetado.”</i>
USER-U03	<i>“Gostei bastante do aplicativo, bastante esclarecedor.”</i>
USER-U05	<i>“Acredito que faltou uma explicação, sobre as ligações químicas. Pois as sobreposições dos orbitais atômicos, que forma os orbitais moleculares, mostraria ao aluno o modelo atual da ligação Química.”</i>
USER-U07	<i>“É um aplicativo de fácil manuseio, e com funções bem definidas. E cumpre o seu papel.”</i>
USER-U10	<i>“Muito bom app, bem didático e fácil de usar.”</i>
USER-U12	<i>“Eu adorei a facilidade de apresentação além de que a música e o texto em áudio facilita mais na concentração do assunto explicado.”</i>
USER-U14	<i>“O aplicativo é de grande serventia, gostei muito.”</i>
USER-U15	<i>“Gostei das perguntinhas sobre orbitais, como se fosse revisão de conteúdo, mas não entendi quando apareceu imagens de um gato, uma carinha e orbitais, fiquei confusa nessa parte.”</i>
USER-U16	<i>“O aplicativo é excelente, fácil de usar, gostei muito, além de aprender sobre a realidade aumentada, achei muito bom o uso das tgs.”</i>
USER-U17	<i>“Positivo: ajuda a lembrar para aqueles alunos que não se lembram mais do assunto negativos: desenvolver mais pergunta sobre o assunto, enriqueceria muito o app e o conhecimento.”</i>

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O usuário U02 em sua resposta sugere uma “[...]forma que possa ser rotacionado o objeto ao qual esteja sendo projetado”, que de fato seria uma melhoria que talvez reduzisse ainda mais a abstração dos orbitais, já que a rotação ampliaria a visualização de todos os eixos de forma mais simples.

O usuário U05 demonstra conhecimento sobre orbitais, entendendo que a sobreposição de orbitais gera orbitais moleculares, funções de onda específicas associadas com

moléculas (BROWN *et al.*, 2016), formados pela combinação matemática de orbitais atômicos (MCMURRY, 2013). A sugestão é bastante interessante, podendo gerar uma nova versão do aplicativo em que a aproximação dos targets dos orbitais produzem orbitais híbridos.

De acordo com Sommerville (2018), a evolução de um sistema pode ser um processo informal, a partir de sugestões de usuários em conversas com os desenvolvedores. Essas propostas de mudanças são a “força motriz” da evolução de um sistema. No entanto, o autor destaca que antes que uma proposta de mudança seja aceita é necessária uma análise do *software* para averiguar o que é preciso ser alterado, permitindo uma análise do impacto causado pela mudança.

O questionamento do usuário U15 faz referência ao botão “Organizadores Prévios”, no qual é exibido um vídeo com curiosidades e informações sobre orbitais. Provavelmente o usuário estava com o volume do aparelho desativado, o que levou a não entender as imagens sendo apresentadas na tela fora de contexto.

Na sequência do questionário de usabilidade os sujeitos também responderam ao questionário de aprendizagem, no formato de escala Likert, com afirmações referentes aos conceitos apresentados pelo sistema (Tabela 10).

Tabela 10 - Questionário de aprendizagem (UVA)

Afirmativa	Escala Likert				
	1. Discordo Totalmente	2	3	4	5. Concordo Totalmente
1. Eu acho que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos	0(0%)	0(0%)	2(11,76%)	2(11,76%)	13(76,47%)
2. Eu acho que o aplicativo dificulta a compreensão dos orbitais atômicos	13(76,47%)	2(11,76%)	1(5,88%)	1(5,88%)	0(0%)
3. Eu acho que o entendimento dos orbitais atômicos é facilitado pelo uso da realidade aumentada	0(0%)	1(5,88%)	4(23,53%)	3(17,65%)	9(52,94%)
4. Eu acho que a realidade aumentada atrapalha na compreensão dos orbitais atômicos	14(82,35%)	2(11,76%)	0(0%)	1(5,88%)	0(0%)
5. Eu compreendo orbital atômico como uma função de onda que descreve uma	0(0%)	1(5,88%)	0(0%)	2(11,76%)	14(82,35%)



probabilidade de densidade eletrônica					
6. Eu compreendo orbital atômico como uma órbita que comporta elétrons	2(11,76%)	1(5,88%)	1(5,88%)	2(11,76%)	11(64,71%)
7. Eu compreendo que um orbital s possui formato esférico	1(5,88%)	0(0%)	0(0%)	1(5,88%)	15(88,24%)
8. Eu compreendo que um orbital s possui formato de haltere	11(64,71%)	3(17,65%)	1(5,88%)	0(0%)	2(11,76%)
9. Eu compreendo que os orbitais <i>p</i> podem ser classificados em <i>p<sub>g</sub></i> , <i>p<sub>n</sub></i> e <i>p<sub>z</sub></i>	13(76,47%)	2(11,76%)	0(0%)	1(5,88%)	1(5,88%)
10. Eu compreendo que os orbitais <i>p</i> podem ser classificados em <i>p<sub>x</sub></i> , <i>p<sub>y</sub></i> e <i>p<sub>z</sub></i> .	0(0%)	0(0%)	0(0%)	2(11,76%)	15(88,24%)
11. Eu compreendo que o orbital <i>d<sub>xy</sub></i> é um orbital do tipo <i>d</i> .	0(0%)	0(0%)	0(0%)	1(5,88%)	16(94,12%)
12. Eu compreendo que o orbital <i>d<sub>xy</sub></i> é um orbital do tipo <i>s</i> .	14(82,35%)	2(11,76%)	1(5,88%)	0(0%)	0(0%)
13. Eu compreendo que dentre os orbitais <i>s</i> , <i>p</i> , <i>d</i> e <i>f</i> , os orbitais do tipo <i>f</i> são os que possuem mais variações.	2(11,76%)	1(5,88%)	0(0%)	1(5,88%)	13(76,47%)
14. Eu compreendo que dentre os orbitais <i>s</i> , <i>p</i> , <i>d</i> e <i>f</i> , os orbitais do tipo <i>p</i> são os que possuem mais variações.	12(70,59%)	1(5,88%)	2(11,76%)	1(5,88%)	1(5,88%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Dos itens 1 ao 4 é possível inferir que o grupo entende que o aplicativo traz contribuições significativas para a compreensão dos orbitais atômicos, tendo a RA como uma ferramenta com potencial para facilitar esse processo. Essa tecnologia constitui um novo paradigma de interface de usuário particularmente promissor, visto que, permite a sobreposição de informações e objetos tridimensionais ao mundo real, explorando as habilidades visuoespaciais do usuário (MAIER, KLINKER, TÖNNIS, 2009).

O item 6, assim como no primeiro grupo, foi o que apresentou o maior quantitativo de erros, com 76,47% concordando com a afirmação que descreve um orbital como uma "órbita" que comporta elétrons. De acordo com Mortimer *et al.* (2020), a descrição do átomo

baseada na teoria quântica não é algo intuitivo, não fazendo sentido, por exemplo, pensar no elétron como uma partícula que habita regiões definidas pelo orbital, diferentemente das teorias anteriores em que analogias podiam ser utilizadas para representar fenômenos submicroscópicos.

Dos itens 7 ao 14 foram apresentadas afirmativas relacionadas aos tipos de orbitais, o desempenho geral em todos os itens foi excelente, com 94,12% de acertos no item 7, 82,35% no item 8, 88,23% no item 9, 100% nos itens 10 e 11 e 94,11% no item 12. O item 13, apesar de contar com 82,35% de acertos foi o que apresentou a maior incidência de erros, com 17,64%, discordando da afirmação que destaca os orbitais do tipo  $f$  como os que apresentam o maior número de variações. Já a afirmativa 14 foi a que apresentou o menor índice de acertos, com 76,47%, e outros 11,76% dos sujeitos marcando o centro da escala neste item.

Dessa forma, as afirmativas 13 e 14, que tratam sobre os orbitais do tipo  $f$ , foram as que apresentaram o maior número de erros e o menor número de acertos, respectivamente, o que pode ser explicado pelo fato de muitos livros didáticos omitirem esses orbitais em suas discussões, justificando a ausência pelo nível de complexidade que esses orbitais apresentam, cessando as discussões nos orbitais do tipo  $d$ , como no livro Química a ciência central: “as formas dos orbitais  $f$  são ainda mais complicadas que as dos orbitais  $d$ , e não serão apresentadas aqui” (BROWN *et al.*, 2016, p. 244).

### **7.3.3 Resultado geral das duas Instituições (FAEC e UVA)**

No presente subtópico apresentam-se os dados coletados de forma geral, agrupando os resultados individuais das pesquisas com os grupos da FAEC e da UVA. O quantitativo de sujeitos chegou a 34, com média de idade próximo a 24 anos, sendo 38,24% dos participantes do gênero feminino e 61,76% do gênero masculino, com sujeitos cursando do segundo ao nono semestre, e até sujeitos que já haviam concluído a graduação (Tabela 11).

Tabela 11 - Dados demográficos (Geral)

VARIÁVEL	VALOR
Idade em anos (média)	23,88
Máxima	46
Mínima	18
Gênero (%)	
Feminino	13(38,24%)
Masculino	21(61,76%)
Semestre (%)	
Segundo	8(26,67%)
Terceiro	1(3,33%)
Quarto	2(6,67%)
Quinto	6(20,00%)
Sexto	2(6,67%)
Sétimo	2(6,67%)
Oitavo	2(6,67%)
Nono	5(16,67%)
Concluído	2(6,67%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Ao agrupar os resultados das duas instituições acerca do conhecimento dos sujeitos sobre RA e Orbital Atômico, foi obtido que 61,76% responderam compreender o que é RA, enquanto 88,24 % dizem saber o que é um orbital atômico (Tabela 12).

Tabela 12 - Conhecimentos prévios RA e Orbital Atômico (Geral)

VARIÁVEL	RESPOSTA (%)	
	Sim	Não
Você sabe o que é Realidade Aumentada?	21(61,76%)	13(38,24%)
Você sabe o que é um Orbital Atômico?	30(88,24%)	4(11,76%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Nas Tabelas 13 e 14 encontram-se dispostos os resultados da pesquisa com o quantitativo de marcações, porcentagem, média, desvio padrão e *score* individual do SUS, para as afirmativas positivas e negativas, obtidos pelo somatório dos resultados das duas instituições (N = 34).

Tabela 13 - Percentual afirmativas positivas e negativas (Geral)

Variável	Escala Likert SUS				
	1. Discordo Totalmente	2	3	4	5. Concordo Totalmente
<b>Afirmativas Positivas</b>					
1. Eu acho que gostaria de usar esse aplicativo com frequência.	0(0%)	3(8,82%)	6(17,65%)	9(26,47%)	16(47,06%)
3. Eu achei o aplicativo fácil de usar.	1(2,94%)	0(0%)	1(2,94%)	8(23,53%)	24(70,59%)
5. Eu acho que várias funções do aplicativo estão muito bem integradas.	2(5,88%)	2(5,88%)	3(8,82%)	8(23,53%)	19(55,88%)
7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse aplicativo rapidamente.	2(5,88%)	2(5,88%)	4(11,76%)	7(20,59%)	19(55,88%)
9. Eu me senti confiante ao usar o aplicativo.	1(2,94%)	3(8,82%)	1(2,94%)	11(32,35%)	18(52,94%)
<b>Afirmativas Negativas</b>					
2. Eu acho o aplicativo desnecessariamente complexo.	18(52,94%)	10(29,41%)	3(8,82%)	3(8,82%)	0(0%)
4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o aplicativo.	22(64,71%)	5(14,71%)	2(5,88%)	1(2,94%)	4(11,76%)
6. Eu acho que o aplicativo apresenta muita inconsistência.	18(52,94%)	7(20,59%)	5(14,71)	2(5,88%)	2(5,88%)
8. Eu achei o aplicativo atrapalhado de usar.	29(85,29%)	1(2,94%)	0(0%)	1(2,94%)	3(8,82%)
10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o aplicativo.	19(55,88%)	6(17,65%)	7(20,59%)	0(0%)	2(5,88%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Tabela 14 - Análise do aplicativo OrbiTAS a partir do SUS (Geral)

VARIÁVEL	MÉDIA DAS RESPOSTAS	DESVIO PADRÃO	PONTUAÇÃO SUS
<b>Afirmativas Positivas</b>			
1. Eu acho que gostaria de usar esse aplicativo com frequência.	4,12	±1,008	77,94
3. Eu achei o aplicativo fácil de usar.	4,59	±0,821	89,71
5. Eu acho que várias funções do aplicativo estão muito bem integradas.	4,18	±1,193	77,94
7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse aplicativo rapidamente.	4,15	±1,209	78,68
9. Eu me senti confiante ao usar o aplicativo.	4,24	±1,075	80,88
<b>Afirmativas Negativas</b>			
2. Eu acho o aplicativo desnecessariamente complexo.	1,74	0,963	81,62
4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o aplicativo.	1,82	1,381	79,41
6. Eu acho que o aplicativo apresenta muita inconsistência.	1,91	1,215	77,21
8. Eu achei o aplicativo atrapalhado de usar.	1,47	1,237	88,24
10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o aplicativo.	1,82	1,141	79,41

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

As normas ISO/IEC 25010, que substituíram as ISO/IEC 9126, definem usabilidade como um subconjunto de qualidade em uso, um requisito que mostra a adequação do *software* ao contexto operacional que apresenta as seguintes subcaracterísticas: adequação/reconhecimento, aprendizagem, operabilidade, proteção contra erros dos usuários, interface estética e acessibilidade:

Adequação / reconhecimento: grau em que os usuários podem reconhecer se um produto ou sistema é apropriado para suas necessidades.

Aprendizagem: grau em que um produto ou sistema permite ao usuário aprender como usá-lo com eficácia e eficiência em situações de emergência.

Operabilidade: grau em que um produto ou sistema é fácil de operar, controlar e apropriado para usar.

Proteção contra erro do usuário: grau em que um produto ou sistema protege os usuários contra erros.

Interface de usuário estética: grau em que uma interface de usuário permite uma interação agradável e satisfatória para o usuário.

Acessibilidade: Grau em que um produto ou sistema pode ser usado por pessoas com a mais ampla gama de características e capacidades para atingir um objetivo especificado em um contexto de uso especificado.

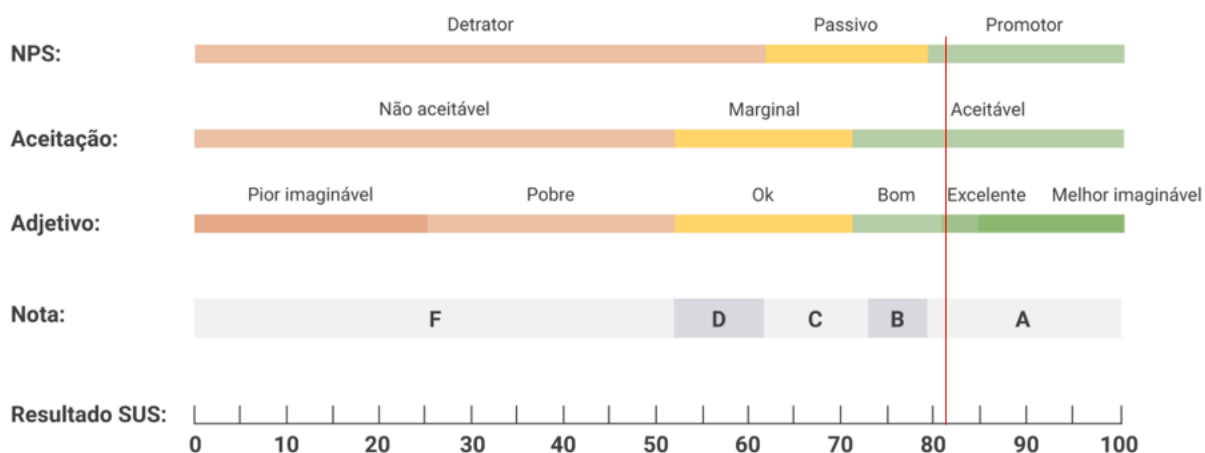
Das variáveis positivas, verifica-se que a afirmativa 3, “eu achei o aplicativo fácil de usar.” foi a que obteve maior pontuação SUS (89,71) com média 4,59 e 94,12% dos usuários concordando com a afirmativa, esta se relaciona diretamente com o componente “facilidade de aprendizagem”, um dos componentes mencionadas por Nielsen, e “aprendizagem” uma das subcaracterísticas de usabilidade destacada nas normas ISO/IEC 25010.

Já nas afirmativas negativas, a maior pontuação do SUS foi obtida na afirmativa 8, “eu achei o aplicativo atrapalhado de usar” (88,24) com média 1,47 (note que a média é baixa por se tratar de uma afirmativa negativa) e 88,23% dos usuários discordando da afirmativa, que está relacionado com a heurística “eficiência” de Nielsen e o componente “operabilidade” indicado na ISO/IEC 25010.

A confiabilidade da pesquisa foi testada utilizando o coeficiente alfa de *Cronbach*, para isso os dados obtidos foram exportados para o *software Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 29.0, e adotou-se um intervalo de confiança de 95%. O *software* retornou o valor 0,85, que de acordo com Sauro (2011) e Vlachogianni e Tselios (2021) enquadra-se no padrão de confiabilidade, já que o coeficiente tem 0,70 como valor mínimo e 1,0 como valor máximo.

Realizando o cálculo do SUS com os 34 sujeitos da pesquisa (duas instituições) a partir do mesmo procedimento indicado por Brooke foi obtido um *score* 81,25, caracterizando o *software* com nota “A” e adjetivo “excelente”, dentro do padrão de aceitação, com NPS “promotor”, em que os sujeitos recomendariam o aplicativo para um amigo (Gráfico 5) (SAURO, 2011; BANGOR; KORTUM; MILLER, 2009).

Gráfico 5 - Nota, adjetivo, aceitabilidade e categorias NPS associadas a pontuações brutas do SUS (Geral)



Fonte: Adaptado de Bangor, Kortum e Miller (2009).

Após o agrupamento dos resultados dos questionários de aprendizagem, foi verificado que 61,76% dos usuários afirmam saber o que é RA, enquanto 88,24% afirmam compreender o conceito de orbital atômico. No entanto, nas afirmativas conceituais, novamente o item 6, que afirma que um orbital é uma órbita que comporta elétrons, teve destaque, com 85,29% dos participantes concordando erroneamente com a afirmativa (Tabela 15).

Tabela 15 - Questionário de aprendizagem (Geral)

Variável	Escala Likert				
	1. Discordo Totalmente	2	3	4	5. Concordo Totalmente
1. Eu acho que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos.	0(0%)	0(0%)	2(5,88%)	3(8,82%)	29(85,29%)
2. Eu acho que o aplicativo dificulta a compreensão dos orbitais atômicos.	29(85,29%)	3(8,82%)	1(2,94%)	1(2,94%)	0(0%)
3. Eu acho que o entendimento dos orbitais atômicos é facilitado pelo uso da realidade aumentada.	0(0%)	1(2,94%)	4(11,76%)	7(20,59%)	22(64,71%)
4. Eu acho que a realidade aumentada atrapalha na compreensão dos orbitais atômicos.	31(91,18%)	2(5,88%)	0(0%)	1(2,94%)	0(0%)

5. Eu compreendo orbital atômico como uma função de onda que descreve uma probabilidade de densidade eletrônica.	0(0%)	1(2,94%)	3(8,82%)	10(29,41%)	20(58,82%)
6. Eu compreendo orbital atômico como uma órbita que comporta elétrons.	2(5,88%)	1(2,94%)	2(5,88%)	11(32,35%)	18(52,94%)
7. Eu compreendo que um orbital <i>s</i> possui formato esférico.	1(2,94%)	0(0%)	1(2,94%)	2(5,88%)	30(88,24%)
8. Eu compreendo que um orbital <i>s</i> possui formato de haltere.	21(61,76%)	3(8,82%)	3(8,82%)	2(5,88%)	5(14,71%)
9. Eu compreendo que os orbitais <i>p</i> podem ser classificados em <i>p<sub>x</sub></i> , <i>p<sub>y</sub></i> e <i>p<sub>z</sub></i> .	22(64,71%)	3(8,82%)	3(8,82%)	2(5,88%)	4(11,76%)
10. Eu compreendo que os orbitais <i>p</i> podem ser classificados em <i>p<sub>x</sub></i> , <i>p<sub>y</sub></i> e <i>p<sub>z</sub></i> .	2(5,88%)	1(2,94%)	4(11,76%)	2(5,88%)	25(73,53%)
11. Eu compreendo que o orbital <i>d<sub>xy</sub></i> é um orbital do tipo <i>d</i> .	1(2,94%)	0(0%)	3(8,82%)	2(5,88%)	28(82,35%)
12. Eu compreendo que o orbital <i>d<sub>xy</sub></i> é um orbital do tipo <i>s</i> .	22(64,71%)	3(8,82%)	3(8,82%)	1(2,94%)	5(14,71%)
13. Eu compreendo que dentre os orbitais <i>s</i> , <i>p</i> , <i>d</i> e <i>f</i> , os orbitais do tipo <i>f</i> são os que possuem mais variações.	3(8,82%)	1(2,94%)	4(11,76%)	2(5,88%)	24(70,59%)
14. Eu compreendo que dentre os orbitais <i>s</i> , <i>p</i> , <i>d</i> e <i>f</i> , os orbitais do tipo <i>p</i> são os que possuem mais variações.	20(58,82%)	3(8,82%)	5(14,71%)	2(5,88%)	4(11,76%)

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Dos 34 participantes, 94,11% acreditam que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos, e 85,3% acham que a RA facilita esse entendimento. Outro dado relevante é o de que 88,23% concordaram assertivamente com a definição correta para orbital (afirmativa 5), no entanto, 85,29% concordaram erroneamente com a afirmativa que trata o



orbital como uma “órbita” onde estão localizados os elétrons, o que ocorre pelo fato de interpretarem as superfícies limites dos orbitais como regiões dotadas de elétrons, esses usuários não conseguiram perceber a natureza probabilística dos orbitais, e assumem uma perspectiva determinista, como nos modelos propostos anteriormente (LIMA, 2018).

Nas afirmativas conceituais sobre os tipos de orbitais (itens 7 ao 14), observou-se um bom desempenho dos participantes, com 94,12% de acertos no item 7, 70,58% no item 8, 73,53% nos itens 9 e 12, 79,41% no item 10, 88,23% no item 11, e 76,47% no item 13. A afirmativa 14, que trata sobre o número de variações dos orbitais, foi a que apresentou a menor pontuação (67,64%), com 17,64% dos sujeitos concordando equivocadamente com a afirmação e outros 14,71% marcando o centro da escala, indicando insegurança conceitual na compreensão da temática.

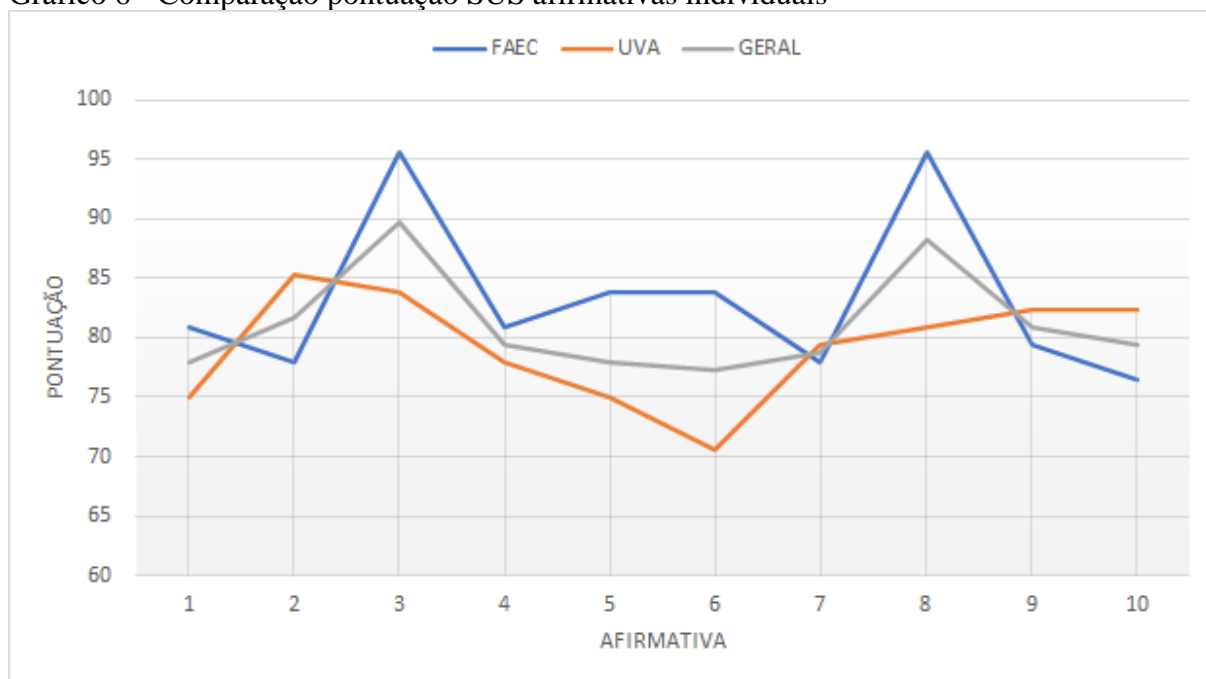
#### ***7.3.4 Análise Comparativa dos Resultados***

Os dois grupos possuem o mesmo quantitativo de sujeitos (N=17), na FAEC, 58,82% dos usuários possuíam conhecimento sobre RA, enquanto na UVA, 64,71% afirmaram saber do que se trata esta tecnologia, esses resultados correspondem a 61,76% do quantitativo total (N=34). Já em relação ao conhecimento sobre Orbital Atômico, a primeira instituição totalizou 82,35% dos respondentes afirmando compreender este tópico, enquanto na segunda instituição esse número sobe para 91,12%, com 88,24% correspondendo ao valor geral.

Esses resultados indicam maior experiência dos sujeitos da instituição II, o que faz sentido se analisados somente o tempo de curso, visto que, estes se encontram em semestres mais avançados do curso de graduação, tendo inclusive sujeitos que o já concluíram (13,33%). No entanto, na instituição I não foi verificado nenhum sujeito cursando o primeiro semestre, e na instituição II, apenas um sujeito cursando o segundo semestre, sendo que todos os demais cursam semestres mais avançados, o que significa que todos deveriam, pelo menos, saber o significado de Orbital Atômico, presente na grade curricular da disciplina de Química Geral I, componente do primeiro semestre do curso de Licenciatura em Química da FAEC e Fundamentos de Química I (ANEXO B), componente do segundo semestre do curso de Licenciatura em Química da UVA (ANEXO C).

Os dez itens do SUS foram calculados individualmente com os dados coletados das duas instituições separadamente e em conjunto (Geral), utilizando o mesmo procedimento do cálculo para o *score* geral, de acordo com o trabalho de Brooke (1996) (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Comparação pontuação SUS afirmativas individuais



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A partir do gráfico, é possível visualizar que as afirmativas 4 (eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o aplicativo), 7 (eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse aplicativo rapidamente) e 9 (eu me senti confiante ao usar o aplicativo) são as que apresentam os resultados mais uniformes, sendo a afirmativa 7 a mais convergente, com apenas 1,47 pontos de diferença entre a instituição I e II, enquanto os itens 3 (eu achei o aplicativo fácil de usar.), 6 (eu acho que o aplicativo apresenta muita inconsistência) e 8 (eu achei o aplicativo atrapalhado de usar) possuem os resultados que mais divergem entre os grupos, com destaque para a afirmativa 8, com 14,71 pontos de diferença entre as instituições.

Alinhando as afirmativas do SUS com os componentes de qualidade de *software* indicados por Nielsen (1994), verifica-se que a afirmativa 7, relaciona-se com o componente “facilidade de aprendizagem”, dessa forma, os dois grupos acreditam que novos usuários conseguem aprender a realizar tarefas básicas no aplicativo de forma facilitada.

Por outro lado, na afirmativa 8 que se refere ao componente “eficiência”, que diz respeito à rapidez e facilidade na realização de tarefas no *software*, enquanto os usuários da FAEC alcançaram 95,59 pontos, os usuários da UVA retornaram uma pontuação de 80,89 nesta afirmativa. Não é possível estimar o porquê dessa discrepância, mas é possível pensar nos distintos formatos de aplicações. Na primeira instituição, por ter sido uma aplicação presencial, os usuários estavam próximos e puderam compartilhar experiências e sanar eventuais dúvidas

entre si, o que talvez não tenha ocorrido na segunda instituição em que ocorreu uma aplicação de forma remota.

Em relação ao *score* SUS, a pontuação mais elevada foi obtida na FAEC, 83,24 pontos, enquanto na UVA o *score* resultou em 79,26 pontos. No geral, fazendo o agrupamento das respostas de todos os usuários essa pontuação chegou a 81,25 pontos. A análise desses resultados, de acordo com a literatura, sugere que o *software* está dentro do padrão de aceitação com adjetivos “bom” à “excelente”. Além disso, o NPS resultante para quaisquer dos resultados indica que os usuários recomendariam o *software* para um amigo (SAURO, 2011; BANGOR; KORTUM; MILLER, 2009).

Quanto ao questionário de aprendizagem, 100% dos sujeitos da FAEC apontaram que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos, enquanto na UVA, 88,24% dos sujeitos concordaram com essa afirmação, e outros 11,76% marcaram o centro da escala, de acordo com Brooke (1996), é recomendado que nenhuma afirmativa fique em branco, portanto se o usuário não se sentisse capaz de responder alguma das questões deveria marcar o número 3, centro da escala). No geral, 94,12% dos usuários afirmam que a compreensão do tópico é facilitada com o uso do *software*.

Em outra afirmativa, que aponta a RA como uma forma de facilitar a aprendizagem dos orbitais atômicos o resultado é similar, com todos os sujeitos do primeiro grupo concordando com a afirmação, enquanto no segundo grupo 5,88% discordaram da afirmativa, 23,53% se mostraram indiferentes, marcando o centro da escala e 70,59% concordaram, totalizando nas duas instituições 85,29% dos sujeitos compreendendo que o entendimento dos Orbitais Atômicos é facilitado pelo uso desta tecnologia.

Nas afirmativas conceituais sobre Orbitais Atômicos, 82,35% dos sujeitos da FAEC e 94,12% dos sujeitos da UVA concordaram com a afirmativa correta que considera Orbital Atômico como uma função de onda que descreve uma probabilidade de densidade eletrônica, o que corresponde a 88,24% da totalidade da amostra, com apenas 2,94% dos sujeitos discordando da afirmação e outros 8,82% inseguros quanto à resposta.

No entanto, na afirmativa seguinte “eu compreendo orbital atômico como uma órbita que comporta elétrons”, apenas 17,65% dos usuários da UVA discordaram da afirmação, enquanto que na FAEC 94,12% concordaram erroneamente com o item. Agrupando os dados coletados verificou-se que apenas 8,82% do total dos usuários discordaram da afirmação, e 85,29% concordaram com o item. Esses dados apontam um erro que os alunos comumente cometem, que é utilizar um pensamento mecanicista dos modelos atômicos anteriores para

explicar o modelo atômico atual, não considerando o caráter probabilístico deste (TSAPARLIS; PAPAPHOTIS, 2009).

Por conseguinte, como essa afirmativa gerou o maior quantitativo de erros, faz-se necessário que na nova versão do aplicativo sejam incluídas situações que evidenciem esse entrave, destacando a mudança de paradigma sucedida pela ascensão do modelo mecânico-quântico em substituição aos modelos tradicionais.

Dos itens 7 ao 14, que tratavam de afirmações sobre os tipos de orbitais, verificou-se um bom desempenho em ambos os grupos, no entanto, 35,29% dos usuários da FAEC erraram o item 12 (eu compreendo que o orbital  $d_{xy}$  é um orbital do tipo  $d$ ), no grupo da UVA, o item com maior incidência de erros foi o 13 (eu compreendo que dentre os orbitais,  $s$ ,  $p$ ,  $d$ , e  $f$ , os orbitais  $f$  são os que possuem mais variações), com 17,65% discordando da afirmação.

No geral, a maior porcentagem de erros ocorreu no item 8 (eu compreendo que um orbital  $s$  possui formato de haltere), com 20,59% dos usuários concordando erroneamente com a afirmação. No entanto, a afirmativa 14 (eu compreendo que dentre os orbitais  $s$ ,  $p$ ,  $d$  e  $f$ , os orbitais do tipo  $p$  são os que possuem mais variações) apresentou o menor percentual em acertos, 67,64%, visto que, 14,71% dos usuários marcaram o centro da escala, indicando que não se sentem capazes de responder ao item e outros 17,65% erraram a questão.

A interpretação desses últimos resultados pode-se levar a entender que muitos desses erros podem ter ocorrido por descuido dos respondentes, visto que as afirmativas foram elaboradas similarmente ao modelo do SUS proposto por Brooke (1996), em que há uma correlação entre os itens, alternando com afirmações positivas e negativas. Em parte do questionário de aprendizagem utilizado nesta pesquisa as afirmações foram alternadas, sendo uma correta e a afirmação seguinte geralmente incorreta, ou vice-versa. Em outras palavras, o sujeito que apontou corretamente a afirmação 13, não deveria errar o item seguinte, que trata sobre o mesmo assunto específico.

Por outro lado, essa oscilação nas respostas pode indicar que esses sujeitos ainda estão em processo de construção do conhecimento, e esses conceitos podem não ter sido tão bem internalizados em suas estruturas cognitivas. O que corrobora os achados de Tsaparlis e Papaphotis (2009) em uma revisão de literatura sobre dificuldades conceituais apresentadas pelos alunos, de que até mesmo alunos que cursam a disciplina de Química Quântica apresentam obstáculos no que diz respeito à compreensão do conceito e do reconhecimento das formas dos orbitais.

Nesse sentido, a próxima versão do *software* será elaborada pensando também nestas inconsistências, incrementando informações e discussões sobre os tipos de orbitais, com

elementos que possam ajudar a consolidar melhor esses conceitos na estrutura cognitiva dos usuários.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários teóricos relatam dificuldades apresentadas por alunos no que diz respeito ao entendimento do conceito de Orbitais Atômicos. Os problemas vão desde uma confusão com o termo “órbita”, oriundo de conceitos do modelo atômico proposto por Rutherford em 1911, conhecido pela analogia ao sistema solar, até uma falsa ideia de que orbitais são objetos reais. Por apresentar um elevado nível de abstração, o que se tenta compreender não faz relações diretas com o cotidiano do aluno, não havendo uma bagagem de conhecimentos prévios que possam ser utilizados como pilares construtivos de aprendizagem. Além disso, os modelos bidimensionais apresentados nos livros didáticos para representarem as formas tridimensionais dos orbitais se configuram como outro entrave para se compreender esse assunto, já que essas representações exigem do estudante uma capacidade de visualização espacial consolidada.

Diante disso, a partir da Metodologia Recursiva de Produção de *Softwares*, os objetivos da pesquisa foram alcançados por meio do desenvolvimento e avaliação de um aplicativo para dispositivos *Android* tendo como pressupostos basilares os Princípios Programáticos da TAS de David Ausubel, implementado com elementos de RA, capaz de auxiliar na visualização espacial e no entendimento dos Orbitais Atômicos, podendo proporcionar uma aprendizagem significativa deste tópico, necessária para a compreensão da estrutura da matéria.

Como produto deste trabalho de pesquisa obteve-se um aplicativo de RA para dispositivos *Android* intitulado OrbiTAS, estruturado com base nos Princípios Programáticos da TAS, com potencial de proporcionar uma aprendizagem significativa do tópico Orbitais Atômicos.

Esse aplicativo foi avaliado por um grupo composto por 34 sujeitos oriundos de duas instituições de ensino diferentes, utilizando o método SUS, verificando um *score* 81,25, caracterizando o *software* com nota “A” e adjetivo “excelente”, dentro do padrão de aceitação, com NPS “promotor”, em que os sujeitos recomendariam o aplicativo para um amigo. Além disso, a partir de um questionário aplicado posteriormente à utilização do *app*, foi obtido um dado relevante que mostra que 94,11% dos usuários acreditam que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos, enquanto 85,3% julgam que a RA facilita no processo dessa compreensão.

Diante disso, o aplicativo desenvolvido pode contribuir para o ensino dos orbitais atômicos em Química, visto que os usuários apresentaram bons resultados no questionário de aprendizagem e avaliaram o recurso positivamente. Ademais, o trabalho desenvolvido também

pode trazer contribuições para futuras pesquisas no que tange à discussão deste tópico, considerado imprescindível para o entendimento da estrutura da matéria, além de incentivar o desenvolvimento de *softwares* com base em fundamentos pedagógicos.

É importante ressaltar, no entanto, que a usabilidade de um sistema pode ser interpretada e avaliada de diversas maneiras. Neste trabalho de dissertação adotou-se como métrica apenas o estudo da usabilidade a partir do uso e avaliação pelos usuários por meio do SUS. Dessa forma, *a posteriori* seria possível utilizar uma diferente métrica de avaliação para ampliação dos resultados apresentados até o presente momento.

Os resultados obtidos estão apresentados no *site* criado para o aplicativo (<https://sites.google.com/view/orbitas>), e na forma de dois artigos que serão publicados em revistas de Ensino de Ciências e Tecnologia, com o objetivo de divulgar o *software* desenvolvido, incentivando o seu potencial uso na construção de uma aprendizagem significativa do tópico Orbitais Atômicos nas aulas de Química, além de propor novos espaços para sua replicação, e o desenvolvimento de novas ferramentas pedagógicas para o ensino de conceitos abstratos a partir da RA e dos Princípios Programáticos da teoria ausubeliana.

## REFERÊNCIAS

- ALLRED, Z. D. R.; BRETZ, S. L. University chemistry students' interpretations of multiple representations of the helium atom. **Chem. Educ. Res. Pract.**, Oxford, v. 20, p. 358-368, jan. 2019.
- ALMEIDA, G. B.; BORGES, R. S.; SÁ, E. R. A. Simulações Computacionais: Uma Proposta de Transposição Didática no Ensino de Química. **RCT**, [s. l.], v. 7, abr. 2021. DOI 10.18227/rct.v7i0.6786. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rct/article/view/6786>. Acesso em: 18 jul. 2022.
- ALMEIDA, G. B.; LIMA, J. O. G. Elaboração de hologramas para o ensino de geometria molecular. **ENCITEC**, Santo Ângelo, v.10, n. 1, p.73-87, 2020. DOI 10.31512/encitec.v8i2.2715. Disponível em: <http://srvapp2s.santoangelo.uri.br/seer/index.php/encitec/article/view/3010>. Acesso em: 18 jul. 2022.
- ALMEIDA, G. B.; LIMA, L.; BARROS FILHO, E. M. Tecnologias para o ensino de orbitais atômicos: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Educar Mais**, [s. l.], v. 7, p.313-324. 2023. DOI 10.15536/reducarmais.7.2023.3105. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/educarmais/article/view/3105>. Acesso em: 26 mar. 2023.
- ALMEIDA, G. B.; LIMA, L.; DAVID, P. B. A Teoria da Aprendizagem Significativa e o ensino de Orbitais Atômicos: Uma revisão sistemática da literatura. **RSD**, [s. l.], v. 11, n. 10, 2022. DOI 10.33448/rsd-v11i10.32289. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33289>. Acesso em: 14 ago. 2022.
- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018. 1094 p.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. 625 p.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Plátano-Edições Técnicas, 2003. 219 p.
- AUTSCHBACH, J. Orbitals: some fiction and some facts. **Journal of Chemical Education**, New York, v. 89, n. 8, p. 1032-1040, maio 2012.
- AZUMA, R.; BAILLOT, Y.; BEHRINGER, R.; FEINER, S.; JULIER, S.; MACINTYRE, B. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, [s. l.], v. 21, n.6, p. 34-47, nov./dec. 2001.
- BACICH, L.; TANZI NETO, A. T.; TREVISANI, F. M. **Ensino Híbrido: personalização e tecnologia da educação**. Porto Alegre: Penso, 2015. 272p.



BAPTISTA, M. M. **Desenvolvimento e utilização de animações em 3D no ensino de química**. 2013. 140 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Química Inorgânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

BARBOSA, J.W. S.; CARVALHO, C. V. A. Geotransform3d: objeto computacional em realidade aumentada para apoio ao ensino de matemática. **RECM**, [s. l.], v. 7, p. 226-239, jan./abr. 2017. Disponível em: <http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/recm/article/view/4413/2318>. Acesso em: 11 maio 2022.

BARGOR, A.; KORTUM, P.; MILLER, J. Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. **Journal of Usability Studies**, [s. l.], v. 4, n.3, p. 114-123, maio 2009.

BROOKE, J. SUS: A "Quick and Dirty" Usability Scale. In: Jordan, P. W. *et al.* (org.). **Usability Evaluation in Industry**. London: Taylor and Francis, 1996. cap. 21, p.189-194.

BROOKE, J. SUS: A Retrospective. **Journal of Usability Studies**, [s. l.], v. 8, p. 29-40, 2013. Disponível em: <https://uxpajournal.org/sus-a-retrospective/>. Acesso em: 11 jan. 2023.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; MURPHY, C. J.; WOODWARD, P. M.; STOLTZFUS, M. W. **Química: a ciência central**. 13 ed. São Paulo: Pearson, 2016. 1188 p.

DICKMANN, T.; OPFERMANN, M.; DAMMANN E.; LANG, M.; RUMANN, S. What you see is what you learn? The role of visual model comprehension for academic success in chemistry. **Chem. Educ. Res. Pract.**, [s. l.], v.20, p. 804-820, jun. 2019. DOI 10.1039/C9RP00016J. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/RP/C9RP00016J>. Acesso em: 15 abr. 2022.

DUARTE, J. O nosso universo matematizado. **Educação & Comunicação**, [s. l.], v. 4, p. 86-96, dez. 2000. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.8/292>. Acesso em: 25 jul. 2022.

GALDINO, N. M. **O que a dança tem a ver com a Química? Uma estratégia baseada na aprendizagem significativa para o ensino de estados de agregação da matéria**. 2021. 48f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Licenciatura em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GIFFONI, J. S.; BARROSO, M. C. S.; SAMPAIO, C. G. Aprendizagem significativa no ensino de Química: uma abordagem ciência, tecnologia e sociedade. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 6, e13963416, 2020. DOI 10.33448/rsd-v9i6.3416. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3416/3617>. Acesso em: 29 abr. 2022.

GILBERT, J. K.; REINER, M. NAKHLEH, M. **Visualization: Theory and Practice in Science Education**. Springer, Dordrecht, 326p, 2008. 333 p.

ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models, [s. l.], 2011. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/35733.html>. Acesso em: 20 dez. 2022.

JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry: logical or psychological? **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, Glasgow, v. 1, n. 1, p. 9-15, 2000.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. *In*: KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações**. Porto Alegre: Editora SBC, 2007. cap. 2, p.2-21.

LIMA, B. S. Aplicativos de realidade virtual e realidade aumentada para o ensino de Química. **Educitec**, Manaus, v. 6, e097220, 2020. DOI 10.31417/educitec.v6i.972. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/972>. Acesso em: 20 abr. 2022.

LIMA, M. M. **Orbital atômico**: aprendizagem e desenvolvimento do conceito por estudantes de química. 2018, 122p. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

LIMA, M. M.; SILVA, J. L. P. B. Orbital atômico: modos de conceituar e ensino. **Scientia Naturalis**, Salvador, v. 1, n. 3, p. 10-12, maio 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/2541>. Acesso em: 20 abr. 2022.

MAIER, P.; KLINKER, G.; TÖNNIS, M. Augmented Reality for teaching spatial relations. **Conference of the International Journal of Arts & Sciences**. Toronto, 2009. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org>. Acesso em: 20 jan. 2023.

MARTINS, M. G.; FREITAS, G. F. G.; VASCONCELOS, P. H. M. A aprendizagem significativa de Ausubel e a relação com materiais alternativos na disciplina de geometria molecular. **Revista Eletrônica DECT**, Vitória, v. 9, n. 1, p. 320-345, 2019. DOI 10.36524/dect.v9i01.1279. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/dect/article/view/1279/738>. Acesso em: 29 abr. 2022.

MAZZUCO, A. E. D.; KRASSMANN, A. L.; BASTIANI, E.; REATEGUI, E. B. Revisão de literatura sobre o uso da realidade aumentada no ensino de química. **RENOTE**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 402-412, jul. 2021. DOI 10.22456/1679-1916.118530. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/118530>. Acesso em: 07 abr. 2022.

MCMURRY, J. **Química Orgânica**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 1188 p.

MCQUARRIE, D. A.; SIMON, J. D. **Physical chemistry**: a molecular approach. California: University Science Books, 1997. 1255 p.

MCQUARRIE, D. A. **Quantum Chemistry**. 2nd ed. California: University Science Books, 2008. 690 p.

MIESSLER G. L.; FISCHER, P. J.; TARR, D. A. **Química Inorgânica**. 5 ed. São Paulo: Pearson, 2014. 649 p.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? **Curriculum**, Espanha, v. 25, p. 29-56, 2012.

MORTIMER, E.; HORTA, A.; MATEUS, A.; PANZERA, A.; GARCIA, E.; PIMENTA, M.; MUNFORD, D. **Matéria, energia e vida uma abordagem interdisciplinar**: materiais luz e som modelos e propriedades. São Paulo: Scipione, 2020. 288 p.

MULLIKEN, R. S. Electronic structures of polyatomic molecules and valence. II. General considerations. **Physical Review**, Chicago, v. 41, p. 49-71, jul. 1932. DOI 10.1103/PhysRev.41.4. Disponível em: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.41.49>. Acesso em: 15 maio 2022.

NIELSEN, J. **Usability Engineering**. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1994. 362p.

OLIVEIRA, C. C.; COSTA, J. W.; MOREIRA, M. **Ambientes informatizados de aprendizagem**: Produção e avaliação de software educativo. Campinas: Papyrus, 2001. 144p.

PAZICNI, S.; FLYNN, A. B. System thinking in Chemistry education: Theoretical challenges and opportunities. **J. Chem. Educ.**, Madison, v.96, 12, p. 2752–2763. Out. 2019. DOI 10.1021/acs.jchemed.9b00416. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.9b00416>. Acesso em: 20 jan. 2022.

PEREIRA, C. F. C.; ROCHA, A. B.; MARTINHON, P. T.; ROCHA, A. S. SOUSA, C. Contextualização Histórico-Filosófica de Orbitais Atômicos e Moleculares. **História da Ciência e Ensino Construindo Interfaces**, Rio de Janeiro, v. 16, p. 18-35, 2017. DOI 10.23925/2178-2911.2017v16p18-35. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/33034>. Acesso em: 18 mar. 2022.

QUEIROZ, A. S.; OLIVEIRA, C. M.; REZENDE, F. S. Realidade Aumentada no Ensino da Química: Elaboração e Avaliação de um Novo Recurso Didático. **ReABTIC**, Paraná, v. 1, n. 2, mar. 2015. DOI 10.5281/zenodo.59446. Disponível em: <https://revistas.setrem.com.br/index.php/reabtic/article/view/44>. Acesso em: 20 jan. 2022.

ROCHA, G. S.; CASTRO, D. L. A presença da Química Quântica em livros e recursos didáticos. **ReLAPEQ**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 142-163, 2020. DOI 10.30705/eqpv.v4i1.2282. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/2282>. Acesso em: 25 jan. 2022.

SAURO, J. **A Practical Guide to the System Usability Scale**: Background, Benchmarks & Best Practices. Denver, Colorado: Measuring Usability LLC, 2011, 162p.

SAURO, J.; LEWIS, J. R. When designing usability questionnaires, does it hurt to be positive? **Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings**, Vancouver, p. 2215–2223, maio, 2011. DOI 10.1145/1978942.1979266. Disponível em: <https://dl.acm.org/>. Acesso em: 18 jan. 2023.

SILVEIRA, F. A.; VASCONCELOS, A. K. P.; SAMPAIO, C. G. Análise do jogo MixQuímico no ensino de química segundo o contexto da teoria da aprendizagem significativa. **R. bras. Ens. Ci. Tecnol.**, Ponta Grossa, v. 12, n. 2, p. 248-269, mai./ago. 2019. DOI 10.3895/rbect.v12n2.8153. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect>. Acesso em: 01 maio 2022.

SCHRÖDINGER, E. Quantisierung als Eigenwertproblem. **Annalen der Physik**, [s. l.], v. 384, n. 361, p.361-376, 1926. DOI 10.1002/andp.19263840404. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15213889>. Acesso em: 18 jul. 2022.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. 10. Ed. São Paulo: Pearson, 2018, 756p.  
TABER, K. S. Conceptualizing quanta: illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals. **Chemistry Education: Research and practice in Europe**, Cambridge, v. 3, n. 2, p. 145-158, maio, 2002. DOI 10.1039/B2RP90012B. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2002/rp/b2rp90012b>. Acesso em: 11 fev. 2023.

TABER, K. S. Learning quanta: barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. **Science Education**, Cambridge, v. 89, n. 1, p. 94-116, nov. 2004. DOI 10.1002/sce.20038. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.20038>. Acesso em: 20 abr. 2022.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa e o ensino de ciência. **Ciências e Cognição**, Rio de Janeiro, v.13, n. 1, p. 94-100, mar. 2008. Disponível em: [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-58212008000100010](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-58212008000100010). Acesso em: 09 abr. 2022.

TENÓRIO, J. M.; COHRS, F. M.; SDEPANIAN, V. L.; PISA, I. T.; MARIN, H. F. Desenvolvimento e Avaliação de um Protocolo Eletrônico para Atendimento e Monitoramento do Paciente com Doença Celíaca. **RITA**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 210-220, 2011. Disponível em: [https://seer.ufrgs.br/index.php/rita/article/view/rita\\_v17\\_n2\\_p210](https://seer.ufrgs.br/index.php/rita/article/view/rita_v17_n2_p210). Acesso em: 09 jan. 2023.

TRINDADE, J.; KIRNER, C.; FIOLEAIS, C. Orbitário: Exploração de Orbitais Hidrogenóides com Realidade Aumentada. In PÉREZ, J. [et al.] ed. - Avances en Informática Educativa. Artículos seleccionados del VI Simposio Internacional de Informática Educativa. **Cáceres**: Grupo de Arquitectura de Computadores y Diseño Lógico, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/12607>. Acesso em: 20 jan. 2022.

TSAPARLIS, G. Atomic Orbitals, Molecular Orbitals and Related Concepts: Conceptual Difficulties Among Chemistry Students. **Research in Science Education**, [s. l.], v. 27, n. 271, p. 271-287, 1997. DOI 10.1007/BF02461321. Disponível em: <https://rdcu.be/cPrzf>. Acesso em: 10 abr. 2022.

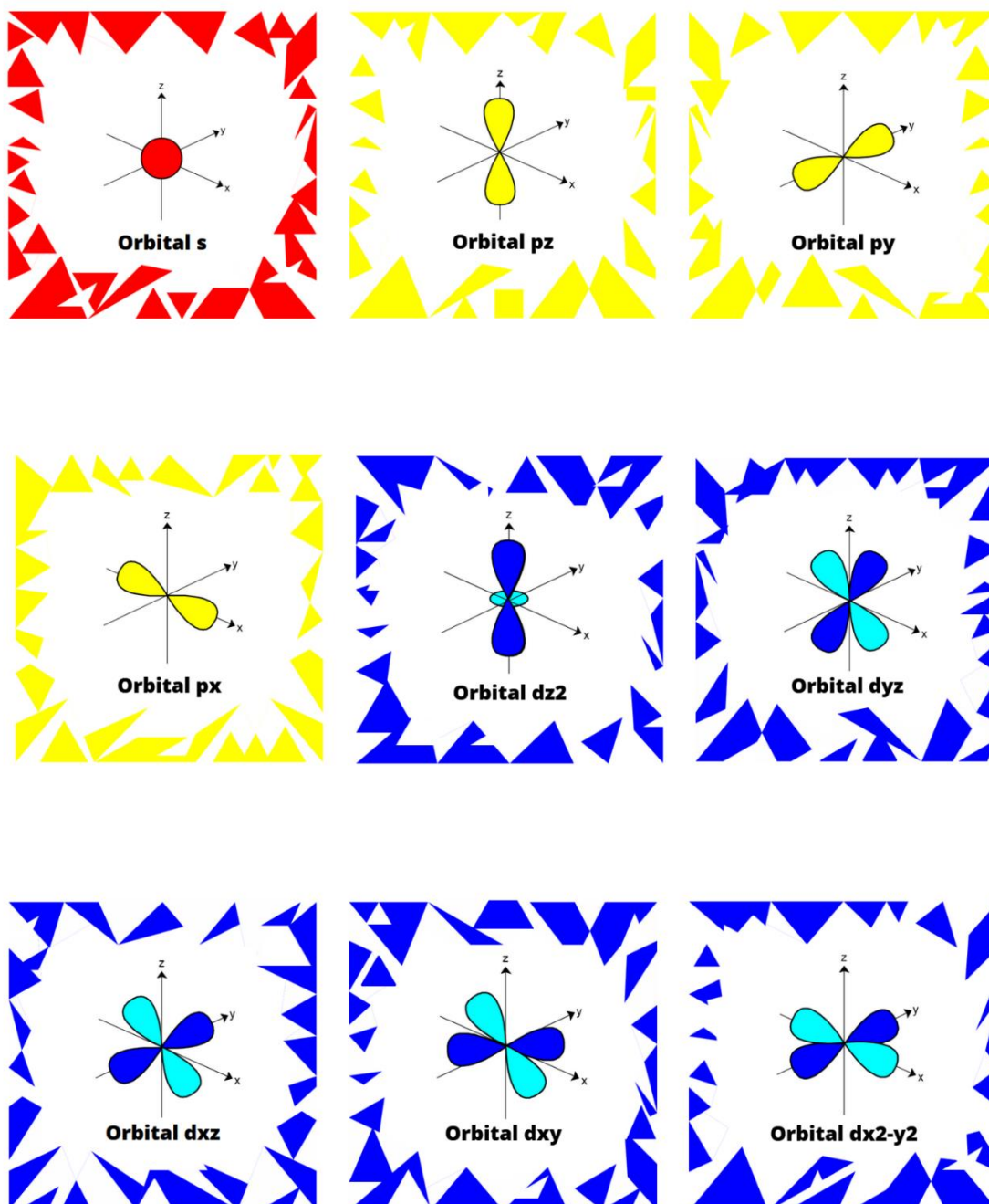
TSAPARLIS, G; PAPAPHOTIS, G. High school students' conceptual difficulties and attempts at conceptual change: the case of basic quantum chemical concepts. **International Journal of Science Education**, [s. l.], v. 31, n. 7, p. 895-930, 2009. DOI 10.1080/09500690801891908. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09500690801891908>. Acesso em: 18 jan. 2022.

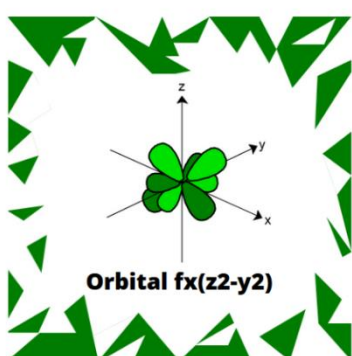
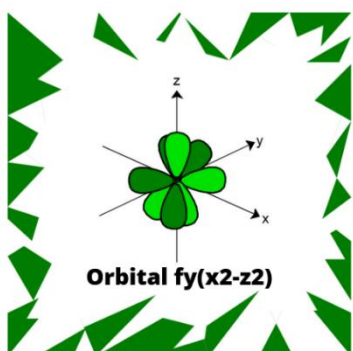
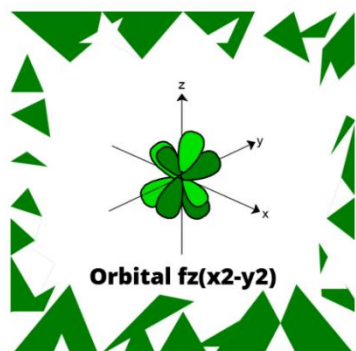
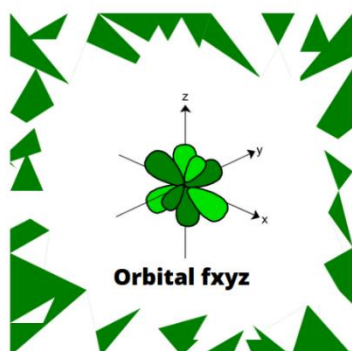
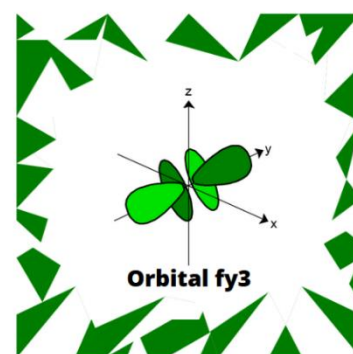
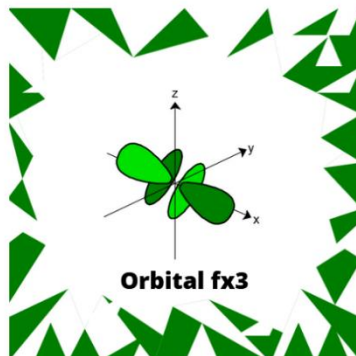
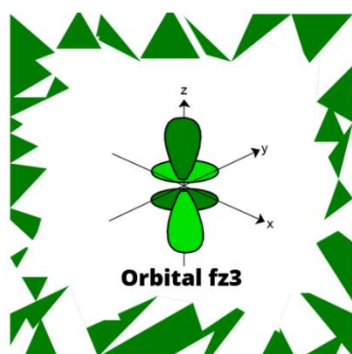
VLACHOGIANNI, P.; TSELIOS, N. Perceived usability evaluation of educational technology using the System Usability Scale (SUS): A systematic review. **Journal of Research on Technology in Education**, Patra, v.54, n. 3, p. 392-409, 2021. DOI 10.1080/15391523.2020.1867938. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15391523.2020.1867938>. Acesso em: 30 jan. 2023.

YILDIRIM, F.S. The effect of the augmented reality applications in science class on students' cognitive and affective learning. **JESEH**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 259-267, 2020. DOI 10.21891/jeseh.751023. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jeseh/article/751023>. Acesso em: 27 abr. 2022.

**APÊNDICE A – QR CODE DOWNLOAD DO APLICATIVO E ACESSO AO SITE**

## APÊNDICE B – TARGETS PARA A VISUALIZAÇÃO EM RA







## APÊNDICE C - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado (a) pelo Prof. Glaylton Batista de Almeida como participante da pesquisa intitulada “Aplicativo de Realidade Aumentada nos moldes ausubelianos para o Ensino de Orbitais Atômicos”. Você não deve participar contra a sua vontade. Leia atentamente as informações abaixo e faça qualquer pergunta que desejar, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos.

A pesquisa será realizada nos anos de 2022 e 2023. Durante o período da pesquisa você participará de dois momentos:

- No primeiro, você será convidado a utilizar um *software* em uma aula com duração de cinquenta minutos, em que será sujeito a várias abordagens do conteúdo de Orbitais Atômicos, visualizando representações em três dimensões, respondendo a questões e acessando informações e curiosidades sobre o assunto dentro do próprio *software*.

- O segundo consiste na coleta de dados, que ocorre por meio de um questionário de avaliação, o *System Usability Scale*, um sistema de avaliação que verifica a usabilidade de um produto tecnológico.

A análise de dados é realizada mediante os resultados obtidos, observando-se o que foi estritamente escrito e/ou falado por você. Com o objetivo de desenvolver um aplicativo de Realidade Aumentada que proporcione uma aprendizagem significativa nos moldes ausubelianos sobre o conceito químico de orbitais atômicos. Outro benefício é que a pesquisa tem como foco valorizar as práticas metodológicas e didáticas, utilizadas no contexto das aulas que se relacionam com novas tecnologias, e a partir dessas experiências compartilhar os desafios encontrados durante as atividades propostas em sala de aula. Os riscos de participação em pesquisa desse gênero vinculam-se à exposição de ideias, pensamentos e ações. No entanto, como os dados coletados serão escritos e não no formato de imagens, nenhum participante será exposto publicamente por meio de fotos e filmagens. Além disso, nenhum nome de participante será revelado, visto que são utilizados pseudônimos para o processo de análise dos dados. A divulgação das informações será realizada entre os profissionais estudiosos do assunto. Os resultados obtidos serão utilizados somente para esta pesquisa e não haverá pagamento por participação na investigação acadêmica. Você participa de forma voluntária.

A qualquer momento o participante poderá recusar a continuar participando da pesquisa, podendo retirar o seu consentimento, sem que isso lhe traga qualquer prejuízo.

Endereço do responsável pela pesquisa:

**Nome:** Glaylton Batista de Almeida

**Instituição:** Universidade Federal do Ceará

**Endereço:** Rua Padre Mororó nº 90, bairro Fátima II, Crateús-CE

**Telefones para contato:** (88)9 9430-1698

**ATENÇÃO:** Se você tiver alguma consideração ou dúvida, sobre a sua participação na pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFC/PROPESQ – Rua Coronel Nunes de Melo, 1000 - Rodolfo Teófilo, fone: 3366-8344/46. (Horário: 08:00-12:00 horas de segunda a sexta-feira).

O CEP/UFC/PROPESQ é a instância da Universidade Federal do Ceará responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos.

O abaixo assinado \_\_\_\_\_, \_\_\_\_ anos, RG: \_\_\_\_\_, declara que é de livre e espontânea vontade que está como participante de uma pesquisa. Eu declaro que li cuidadosamente este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e que, após sua leitura, tive a oportunidade de fazer perguntas sobre o seu conteúdo, como também sobre a pesquisa, e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. E declaro, ainda, estar recebendo uma via assinada deste termo.

Crateús, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nome do participante da pesquisa	Data	Assinatura
Nome do pesquisador	Data	Assinatura
Nome do profissional que aplicou o TCLE	Data	Assinatura

## APÊNDICE D - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (no caso de menor)

Seu(sua) filho(a) ou menor sob sua responsabilidade está sendo convidado(a) pelo Prof. Glaylton Batista de Almeida como participante da pesquisa intitulada “Aplicativo de Realidade Aumentada nos moldes ausubelianos para o Ensino de Orbitais Atômicos”. Seu(sua) filho(a) ou menor sob sua responsabilidade não deve participar contra a sua vontade. Leia atentamente as informações abaixo e faça qualquer pergunta que desejar, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos.

A pesquisa será realizada nos anos de 2022 e 2023. Durante o período da pesquisa seu(sua) filho(a) ou menor sob sua responsabilidade participará de dois momentos:

- No primeiro, o participante será convidado a utilizar um *software* e em seguida
- O segundo consiste na coleta de dados, que ocorre por meio de um questionário de avaliação, o *System Usability Scale*, um sistema de avaliação que verifica a usabilidade de um produto tecnológico.

A análise de dados é realizada mediante os resultados obtidos, observando-se o que foi estritamente escrito e/ou falado pelo participante. O objetivo deste estudo é desenvolver um aplicativo de Realidade Aumentada que proporcione uma aprendizagem significativa nos moldes ausubelianos sobre o conceito químico de orbitais atômicos. Um benefício é que a pesquisa tem como foco valorizar as práticas metodológicas e didáticas, utilizadas no contexto das aulas que se relacionam com novas tecnologias, e a partir dessas experiências compartilhar os desafios encontrados durante as atividades propostas em sala de aula. Os riscos de participação em pesquisa desse gênero vinculam-se à exposição de ideias, pensamentos e ações. No entanto, como os dados coletados serão escritos e não no formato de imagens, nenhum participante será exposto publicamente por meio de fotos e filmagens. Além disso, nenhum nome de participante será revelado, visto que são utilizados pseudônimos para o processo de análise dos dados. A divulgação das informações será realizada entre os profissionais estudiosos do assunto. Os resultados obtidos serão utilizados somente para esta pesquisa e não haverá pagamento por participação na investigação acadêmica. Seus(Suas) filhos(as) participam de forma voluntária.

A qualquer momento seu(sua) filho(a) ou menor sob sua responsabilidade poderá recusar a continuar participando da pesquisa, podendo retirar o seu consentimento como responsável, sem que isso lhe traga qualquer prejuízo.

Endereço do responsável pela pesquisa:

Nome: Glaylton Batista de Almeida

Instituição: Universidade Federal do Ceará

Endereço: Rua Padre Mororó nº 90

Telefone para contato: (88)9 9430-1698

**ATENÇÃO:** Se você tiver alguma consideração ou dúvida, sobre a sua participação na pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFC/PROPESQ – Rua Coronel Nunes de Melo, 1000 - Rodolfo Teófilo, fone: 3366-8344/46. (Horário: 08:00-12:00 horas de segunda a sexta-feira).

O CEP/UFC/PROPESQ é a instância da Universidade Federal do Ceará responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos.

O abaixo assinado \_\_\_\_\_, \_\_\_\_ anos, RG: \_\_\_\_\_, declara que é de livre e espontânea vontade que está como participante de uma pesquisa. Eu declaro que li cuidadosamente este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e que, após sua leitura, tive a oportunidade de fazer perguntas sobre o seu conteúdo, como também sobre a pesquisa, e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. E declaro, ainda, estar recebendo uma via assinada deste termo.

Crateús, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nome do responsável pelo(a) menor da pesquisa pelo(a) menor participante	Data	Assinatura do responsável participante
--	------	--

Nome do pesquisador	Data	Assinatura
---------------------	------	------------

Nome do profissional que aplicou o TCLE	Data	Assinatura
---	------	------------

## APÊNDICE E - TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (no caso do menor)

Você está sendo convidado(a) como participante da pesquisa: “Aplicativo de Realidade Aumentada nos moldes ausubelianos para o Ensino de Orbitais Atômicos”. Nesse estudo pretendemos desenvolver um aplicativo de Realidade Aumentada que proporcione uma aprendizagem significativa nos moldes ausubelianos sobre o conceito químico de orbitais atômicos.

O motivo que nos leva a estudar esse assunto é o de que a utilização de novas metodologias de ensino amparadas em teorias de aprendizagem e pelo uso das tecnologias digitais, como a Realidade Aumentada, podem se configurar como uma importante forma de motivar e engajar os alunos no processo de aprendizagem.

Para este estudo adotaremos o(s) seguinte(s) procedimento(s): alunos são convidados a utilizar o aplicativo desenvolvido ao longo de uma aula de cinquenta minutos, em que serão sujeitos a várias abordagens do conteúdo de Orbitais Atômicos, visualizando representações em três dimensões, respondendo a questões e acessando informações e curiosidades sobre o assunto dentro do próprio *software*. E ao fim será solicitado que respondam ao questionário de avaliação de usabilidade.

Para participar deste estudo, o responsável por você deverá autorizar e assinar um termo de consentimento. Você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você será esclarecido(a) em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. O responsável por você poderá retirar o consentimento ou interromper a sua participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido(a) pelo pesquisador que irá tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Você não será identificado em nenhuma publicação. Este estudo apresenta risco mínimo relacionados à sua escrita e à sua fala. Você pode ficar exposto em relação a suas ideias, pensamentos e ações. No entanto, como os dados coletados serão escritos e não no formato de imagens, você não será exposto publicamente por meio de fotos e filmagens. Além disso, seu nome de estudante não será revelado, uma vez que serão utilizados pseudônimos para o processo de análise de dados. A divulgação das informações será realizada entre os profissionais estudiosos do assunto. Apesar disso, você tem assegurado o direito a ressarcimento ou indenização no caso de quaisquer danos eventualmente produzidos pela pesquisa.

Os resultados estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a permissão do responsável por você. Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 anos e, após esse tempo, serão destruídos. Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma via será arquivada pelo pesquisador responsável, e a outra será fornecida a você.

Eu, \_\_\_\_\_, portador(a) do documento de Identidade \_\_\_\_\_ (se já tiver documento), fui informado(a) dos objetivos do presente estudo de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações, e o meu responsável poderá modificar a decisão de participar, se assim o desejar. Tendo o consentimento do meu responsável já assinado,

declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma via deste Termo de Assentimento e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Crateús, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) menor

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) pesquisador(a)

Endereço do responsável pela pesquisa:

**Nome:** Glaylton Batista de Almeida

**Instituição:** Universidade Federal do Ceará

**Endereço:** Rua Padre Mororó nº 90, bairro Fátima II, Crateús-CE

**Telefones para contato:** (88)9 9430-1698

**ATENÇÃO:** Se você tiver alguma consideração ou dúvida, sobre a sua participação na pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFC/PROPESQ – Rua Coronel Nunes de Melo, 1000 - Rodolfo Teófilo, fone: 3366-8344/46. (Horário: 08:00-12:00 horas de segunda a sexta-feira).

O CEP/UFC/PROPESQ é a instância da Universidade Federal do Ceará responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos.

## ANEXO A – PARECER CONSUBSTÂNCIADO DO CEP

UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
CEARÁ PROPESQ - UFC

## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

## DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** APLICATIVO DE REALIDADE AUMENTADA NOS MOLDES AUSUBELIANOS PARA O ENSINO DE ORBITAIS ATÔMICOS

**Pesquisador:** GLAYLTON BATISTA DE ALMEIDA

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 65908422.8.0000.5054

**Instituição Proponente:** Instituto UFC Virtual

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

## DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 5.911.830

**Apresentação do Projeto:**

Pesquisas têm constatado problemas no que diz respeito ao entendimento do conceito químico de Orbital Atômico, isso porque esse assunto envolve fenômenos distantes da realidade do aluno e requer uma compreensão visuoespacial de modelos abstratos, o que dificulta uma aprendizagem significativa. Uma das formas mencionadas por pesquisadores para facilitar o processo de aprendizagem desse conteúdo é o uso de tecnologias digitais, visto que possuem diversas formas de utilização, e podem motivar o aluno a fazer relações entre o assunto que se quer compreender com o que ele já possui ancorado em sua estrutura cognitiva, assim como preconiza a Teoria da Aprendizagem Significativa.

**Objetivo da Pesquisa:**

**Objetivo Primário:**

-Desenvolver um aplicativo de Realidade Aumentada (RA) que proporcione uma aprendizagem significativa nos moldes Ausubelianos sobre o conceito químico de orbitais atômicos.

**Objetivo Secundário:**

-Testar a usabilidade do aplicativo de RA produzido com um grupo de alunos de Química de nível técnico/graduação.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Riscos

**Endereço:** Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

**Bairro:** Rodolfo Teófilo

**CEP:** 60.430-275

**UF:** CE **Município:** FORTALEZA

**Telefone:** (85)3366-8344

**E-mail:** comepe@ufc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
CEARÁ PROPESQ - UFC



Continuação do Parecer: 5.911.830

Mínimos

**BENEFÍCIOS**

A pesquisa tem como benefício a produção de um material potencialmente significativo para o ensino de Orbital Atômico, que pode ser utilizado por professores e alunos de Ensino Médio e Superior das áreas da química

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

O projeto em questão está com escrita razoável, porém de boa leitura e entendimento. Está incluído desenho do estudo, introdução, revisão, objetivos, metodologia, cronograma de atividades, orçamento e outros. A documentação exigida pela RESOLUÇÃO 466/2012/CNS/MS que regulamenta os estudos aplicados aos seres humanos está incluída.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Os termos de apresentação do trabalho estão coerentes com o tema abordado e o rigor da ética em pesquisa.

**Recomendações:**

O projeto de pesquisa está devidamente instruído para que o mesmo seja executado. Portanto o parecer é favorável à sua APROVAÇÃO.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Aprovado

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2047885.pdf	29/11/2022 21:03:51		Aceito
Outros	TERMO_DE_COMPROMISSO_PARA_UTILIZACAO_DE_DADOS.pdf	29/11/2022 20:58:39	GLAYLTON BATISTA DE	Aceito
Outros	CARTA_DE_APRECIACAO.pdf	29/11/2022 20:56:53	GLAYLTON BATISTA DE	Aceito
Orçamento	DECLARACAO_DE_ORCAMENTO.pdf	29/11/2022 20:42:05	GLAYLTON BATISTA DE	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura	Projeto_CEP.pdf	29/11/2022 20:39:16	GLAYLTON BATISTA DE	Aceito

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

Bairro: Rodolfo Teófilo

CEP: 60.430-275

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85)3366-8344

E-mail: comepe@ufc.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
CEARÁ PROPESQ - UFC



Continuação do Parecer: 5.911.830

Investigador	Projeto_CEP.pdf	29/11/2022 20:39:18	GLAYLTON BATISTA DE	Aceito
Declaração de concordância	DECLARACAO_DE_CONCORDANCIA.pdf	29/11/2022 20:33:31	GLAYLTON BATISTA DE	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	AUTORIZACAO_IFCE.pdf	29/11/2022 20:26:56	GLAYLTON BATISTA DE ALMEIDA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	AUTORIZACAO_FAEC.pdf	29/11/2022 20:26:47	GLAYLTON BATISTA DE ALMEIDA	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA.pdf	29/11/2022 20:23:28	GLAYLTON BATISTA DE	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto_final.pdf	29/11/2022 20:18:04	GLAYLTON BATISTA DE	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TERMO_DE_ASSENTIMENTO_LIVRE_E_ESCLARECIDO.docx	28/11/2022 09:22:17	GLAYLTON BATISTA DE ALMEIDA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_MENOR_DE_IDADE.docx	26/11/2022 09:21:51	GLAYLTON BATISTA DE ALMEIDA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_MAIOR_DE_IDADE.docx	26/11/2022 09:20:56	GLAYLTON BATISTA DE ALMEIDA	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

FORTALEZA, 27 de Fevereiro de 2023

---

Assinado por:  
**FERNANDO ANTONIO FROTA BEZERRA**  
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

Bairro: Rodolfo Teófilo

CEP: 60.430-275

UF: CE Município: FORTALEZA

Telefone: (85)3366-8344

E-mail: comepe@ufc.br

## ANEXO B - PROGRAMA DA DISCIPLINA QUÍMICA GERAL I (FAEC)

Projeto Político Pedagógico – Curso de Licenciatura Plena em Química – Faculdade de Educação de Crateús (FAEC)



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ-UECE  
Reconhecida: pelo Decreto nº 79.172 de 26.01.77  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO DE CRATEÚS

### Programa de disciplina

Disciplina: Química Geral I
Código: CR391
Carga horária/créditos: 102 horas/aulas - 06 cr.
Pré-requisitos:

#### 1. EMENTA

Método científico; princípios básicos da química: classificação, propriedades, transformações energéticas e aspectos estruturais da matéria; estrutura atômica; classificação periódica dos elementos; ligações químicas; ácidos e base.

#### 2. OBJETIVOS

Capacitar o aluno com vistas ao conhecimento dos princípios básicos da Química, identificação, discussão, ilustração e resolução de problemas relativos a medidas em química, classificação, propriedades, transformações energéticas e aspectos estruturais da matéria, estrutura atômica, classificação periódica dos elementos, ligações químicas e ácidos e base. Aplicação dos conhecimentos teóricos no desenvolvimento de trabalhos experimentais.

#### 3. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

##### I - Parte teórica

- FUNDAMENTOS DA QUÍMICA:** Ciência, Tecnologia e Química. Importância e Aplicação da Química. Breve Histórico do Desenvolvimento da Química. Metodologia Científica.
- MATÉRIA E ENERGIA:** Matéria e suas Transformações. Classificação da Matéria. Mistura Eutética e Mistura Azeotrópica. Processos de Separação de Misturas. Energia e suas Diferentes Formas. Princípio de Conservação de Energia. Calor e Temperatura.
- ESTRUTURA ATÔMICA:** Teoria Corpuscular de Dalton. O Átomo de Thomson e o Átomo Nuclear de Rutherford. O Modelo Atômico de Bohr. O Modelo Atômico de Acordo com a Mecânica Ondulatória. Os Números Quânticos. Princípio de Exclusão de Pauli. Princípio da Multiplicidade Máxima de Hund. Configurações Eletrônicas. Paramagnetismo e Diamagnetismo.
- CLASSIFICAÇÃO PERIÓDICA:** Periodicidade Química e Tabela Periódica. Descrição da Tabela Periódica. Propriedades Periódicas: Dimensões Atômicas, Energia de Ionização, Afinidade ao Elétron, Eletronegatividade.
- LIGAÇÕES QUÍMICAS:** Natureza das Ligações Químicas. Ligação Iônica. Ligação Covalente Normal e Ligação Covalente Coordenada. Conceito de Hibridização e Geometria Molecular. Interações Intermoleculares: Íon-Dipolo Permanente, Íon-Dipolo Induzido, Dipolo Permanente-Dipolo Permanente, Dipolo Permanente-Dipolo Induzido, Dipolo Induzido-Dipolo Induzido. Ligação Hidrogênio.
- ÁCIDOS E BASES:** Teoria Geral de Ácidos e Bases: Conceitos de Arrhenius, de Bronsted-Lowry e de Lewis, Reações de Ionização, Indicadores Ácido-Base, Fórmula Geral e Nomenclatura de Ácidos e Bases.

##### II – Parte experimental:

- MISTURAS HOMOGÊNEAS E HETEROGÊNEAS:** Identificação e Classificação de Sistemas Químicos Homogêneos e Heterogêneos. Emprego de Processos de Separação.
- FENÔMENOS FÍSICOS E QUÍMICOS:** Identificação de Fenômenos Físicos e Químicos Através de Reações Observadas em Vários Sistemas Químicos.

## ANEXO C - PROGRAMA DA DISCIPLINA DE FUNDAMENTOS DE QUÍMICA I (UVA)

### 12.10 Detalhamento curricular: ementas, conteúdos programáticos e bibliografia

#### Fundamentos de Química I

##### Ementa

Conhecimentos básicos de Química: Matéria, Energia e formas de medidas; Estrutura atômica; Estequiometria; Classificação periódica dos elementos; Ligações químicas; Sólidos; Ácidos e Bases, Atividades de prática como componente curricular.

##### Conteúdo Programático

**UNIDADE I – MATÉRIAS E FORMAS DE MEDIDAS**  
 1.1 – Importância da Química e alguns conceitos básicos  
 1.2 – A matéria e suas propriedades  
 1.3 – Elementos, compostos, misturas e substâncias  
 1.4 – Métodos de separação de misturas  
 1.5 – Métodos de identificação e purificação de substâncias  
 1.6 – Atividades de prática como componente curricular

**UNIDADE II – ESTEQUIOMETRIA**  
 2.1 – Teoria atômica de Dalton  
 2.2 – Leis ponderais, massas relativas, número de Avogrado e massa molar  
 2.3 – Concentração molar  
 2.4 – Fórmula mínima  
 2.5 – Equações químicas  
 2.6 – Relações de massa nas reações  
 2.7 – Reagente limitante e rendimento teórico e real  
 2.8 – Atividades de prática como componente curricular

**UNIDADE III – ESTRUTURA ATÔMICA DOS ÁTOMOS**  
 3.1 – Natureza elétrica da matéria  
 3.2 – Componente de átomo  
 3.3 – Isótopos  
 3.4 – Comportamento do átomo e Natureza da luz  
 3.5 – Teoria de Bohr para o átomo de hidrogênio  
 3.6 – Ondas e partículas  
 3.7 – Orbital e Distribuição eletrônica nos átomos  
 3.8 – Atividades de prática como componente curricular

**UNIDADE IV – CLASSIFICAÇÃO PERIÓDICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS**  
 4.1 – Desenvolvimento histórico  
 4.2 – Tabela periódica moderna  
 4.3 – Metais e não-metais  
 4.4 – Blocos da tabela periódica  
 4.5 – Tendências das propriedades atômicas  
 4.6 – Atividades de prática como componente curricular

**UNIDADE V – LIGAÇÕES QUÍMICAS**  
 5.1 – Ligação iônica, configuração de íons