



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICA (CFM)
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO (CED)
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (CCB)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E
TECNOLÓGICA

Helen Clemes Cardoso

**Visualização interpretativa dos estudantes de ensino médio na aprendizagem
de modelos atômicos**

Florianópolis

2024

Helen Clemes Cardoso

**Visualização interpretativa dos estudantes de ensino médio na aprendizagem
de modelos atômicos**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Doutora em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo José Sena dos Santos

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Clemes Cardoso, Helen

Visualização interpretativa dos estudantes de ensino médio na aprendizagem de modelos atômicos / Helen Clemes Cardoso ; orientador, Paulo José Sena dos Santos, 2024.
149 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Visualização. 3. Ensino de Ciências. 4. Modelos Atômicos. 5. Simulação. I. Sena dos Santos, Paulo José. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.

Helen Clemes Cardoso

**Visualização interpretativa dos estudantes de ensino médio na aprendizagem de
modelos atômicos**

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 30 de abril de 2023,
pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^a Gabriela Kaiana Ferreira, Dr^a
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Bruno dos Santos Simões , Dr.
Instituição Universidade Federal da Grande Dourados

Prof. Fábio Bartolomeu Santana, Dr
Instituição Instituto Federal do Paraná

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de Doutora em Educação Científica e Tecnológica .

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Paulo José Sena dos Santos, Dr
Orientador

Florianópolis, 2024.

Dedicada a minha avó (*in memoriam*) e a minha mãe
que me ensinaram a importância da educação para
olhar o mundo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de registrar meus agradecimentos ao fomento à pesquisa durante o período de quatro anos, oportunizado pela Fundação de Amparo a Pesquisa de Santa Catarina (FAPESC). Assim como ao Programa de Pós-Graduação de Educação Científica e Tecnológica (PPGECT), e a todo o seu corpo docente. Em especial a professora Dr^a Tatiana Da Silva e ao professor Dr Paulo José Sena dos Santos pelas orientações de leitura e desenvolvimento durante a construção da pesquisa.

Ao professor Heros Horst pela disponibilização do espaço em suas aulas para realização da pesquisa, e por todo o apoio durante essa etapa do percurso.

A todos os membros da banca pelo tempo dedicado à leitura para as contribuições à pesquisa. As minhas cachorras Havana e Roma (*in memoriam*) pela parceria nas noites incansáveis de estudo intenso. Aos meus amigos e familiares por todo o apoio e encorajamento durante a jornada, o incentivo foi crucial para a finalização de mais essa etapa formativa.

Na verdade, presumia-se que nossos órgãos sensoriais, eles mesmos compostos de inúmeros átomos, eram toscos demais para observar as partes mais diminutas da matéria.

(Bohr, 1955, p. 106)

RESUMO

O ensino de ciências está pautado na abordagem de conceitos e modelos que apresentam elevado grau de abstração, o que requer envolver os estudantes em atividades que os orientem para a compreensão desses modelos. Assim, no cenário educacional, diferentes ferramentas virtuais são desenvolvidas e utilizadas para subsidiar o processo de ensino-aprendizagem por meio de experiências visuais, como animações, simulações e ambientes virtuais de aprendizagem. Entretanto, sem uma perspectiva teórica voltada para as questões visuais, essas atividades acabam desempenhando um papel meramente ilustrativo. A visualização, conceito teórico trazido da psicologia cognitiva para o ensino de ciências, trata justamente das experiências visuais a partir dos objetos de visualização (diagramas, gráficos, animações, simulações), entendendo que a partir destes são construídas as visualizações introspectivas e interpretativas. Ou seja, o objeto de visualização é significado e conceitualizado pelos estudantes, construindo sua visualização interpretativa sobre o conteúdo estudado. Aliado ao preceito da existência de uma arquitetura cognitiva que prevê a existência de uma memória de trabalho e de longo prazo, sendo a memória de trabalho responsável pela codificação das informações. O processamento de informações de maneira verbal e não-verbal, possibilita controlar a quantidade de informações apresentadas aos estudantes, sem sobrecarregar a memória de trabalho. Dessa forma, a visualização aliada a arquitetura cognitiva se mostra como perspectiva teórica para subsidiar a abordagem de atividades virtuais no contexto de ensino. Assim, a presente pesquisa propôs e aplicou uma sequência didática, pautada nos aspectos da visualização. Foi selecionada a atividade virtual Modelos do Átomo de Hidrogênio do grupo PhET (Physics Education Technology Project) para abordar o tópico de Modelos atômicos, que usualmente compõem o currículo do ensino médio. Especificamente, o objetivo é conhecer qual a contribuição dos objetos de visualização, presentes na atividade virtual selecionada neste estudo, para a construção da visualização interpretativa externalizada pelos estudantes em seus diagramas apresentados na resolução das atividades.

Palavras-chave: Visualização; Ensino de Ciências; Modelos Atômicos; Simulação.

ABSTRACT

Science teaching is based on approaching concepts and models that present a high degree of abstraction, which requires involving students in activities that guide them towards understanding these models. Thus, in the educational scenario, different virtual tools are developed and used to support the teaching-learning process through visual experiences, such as animations, simulations and virtual learning environments. However, without a theoretical perspective focused on visual issues, these activities end up playing a merely illustrative role. Visualization, a theoretical concept brought from cognitive psychology to science teaching, deals precisely with visual experiences based on visualization objects (diagrams, graphs, animations, simulations), understanding that introspective and interpretative visualizations are constructed from these. In other words, the visualization object is signified and conceptualized by students, building their interpretative visualization on the content studied. Allied to the precept of the existence of a cognitive architecture that provides for the existence of a working and long-term memory, with working memory being responsible for encoding information. The processing of information verbally and non-verbally, which makes it possible to control the amount of information presented to students, without overloading working memory. In this way, visualization combined with cognitive architecture proves to be a theoretical perspective to support the approach to virtual activities in the teaching context. Thus, the present research proposed and applied a didactic sequence, based on visualization aspects. The virtual activity Hydrogen Atom Models from the PhET group (Physics Education Technology Project) was selected to address the topic of Atomic Models, which usually make up the high school curriculum. Specifically, the objective is to understand the contribution of the visualization objects, present in the virtual activity selected in this study, to the construction of the interpretative visualization externalized by the students in their diagrams presented when solving the activities.

Keywords: Visualization; Science teaching; Atomic Models; Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Absorção e liberação de fóton de acordo com o modelo atômico de Bohr.....	23
Figura 2 - Esquema da arquitetura cognitiva e suas memórias.....	29
Figura 3 – Diagrama construído com base Nkosi e Mnguni (2020).....	31
Figura 4 – Diagrama da visualização com base em Vavra et al., 2011.....	33
Figura 5 – Animação do movimento de rotação síncrona da Lua.....	39
Figura 6 - Diagrama do aluno (O) após animação.....	40
Figura 7 - Experimento tubos de raio catódico de Crookes.....	45
Figura 8 - Experimento da folha de ouro.....	46
Figura 9 – Esquema do sistema de busca pelas publicações na área de ensino de ciências.....	48
Figura 10 - Publicações encontradas na revisão classificadas por biênio.....	52
Figura 11 – Diagramas apresentados por estudantes baseados no modelo de Rutherford extraído dos estudos publicados.....	53
Figura 12 – Diagramas apresentados por estudantes baseados no modelo de Bohr extraído dos estudos publicados.....	53
Figura 13 - Diagramas construídos por estudantes do ensino médio.....	54
Figura 14 - Diagramas construídos por professores de ciências em formação.....	54
Figura 15 - Diagramas dos modelos quânticos e múltiplos modelos.....	55
Figura 16 – Esquema do sistema de busca pelas publicações que utilizaram a simulação Modelos para o átomo de Hidrogênio.....	62
Figura 17 – Análise dos modelos atômicos e suas características.....	65
Figura 18 – Questões aplicadas aos estudantes.....	65
Figura 19 – Imagem estática da simulação Modelos para o Átomo de Hidrogênio função Predição.....	69
Figura 20 – Imagem estática da simulação Modelos para o Átomo de Hidrogênio função Experimento.....	69
Figura 21 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio na função Predições explorando os objetos de visualização analogia e pictórico.....	72

Figura 22 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio função Predições explorando o objeto de visualização diagrama esquemático.....	73
Figura 23 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio função Experimento explorando o objeto de visualização pictórico.....	75
Figura 24 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio função Experimento explorando o objeto de visualização analogia.....	75
Figura 25 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio função Experimento explorando o objeto de visualização diagrama esquemático.....	76
Figura 26 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio função Predição explorando o objeto de visualização diagrama esquemático, analogia, pictórico e animação....	77
Figura 27 - Estrutura das atividades síncronas e assíncronas da abordagem de ensino.....	80
Figura 28 - Questão quatro da atividade três utilizada na abordagem de ensino....	82
Figura 29 - Questão quatro (Q4) da atividade quatro (A4) utilizada na abordagem de ensino.....	83
Figura 30 - Fases do processo de análise dos dados.....	85
Figura 31 - Diagramas do átomo apresentados pelos estudantes antes da exploração da simulação.....	88
Figura 32 - Diagrama do átomo apresentado pelos estudantes para a questão 1....	90
Figura 33 - Resposta apresentada pelos estudantes à questão 2 em coerência com o diagrama do átomo da questão 1.....	92
Figura 34 - Estudante que apresentou inicialmente resposta sem elemento e passou para uma representação de elemento correto.....	93
Figura 35 - Resposta dos estudantes se há apenas uma forma para representar o átomo.....	94
Figura 36 - Questão quatro aplicada apenas no pós-teste.....	96
Figura 37 - Resultados obtidos para a questão quatro do pós-teste.....	96
Figura 38 - Externalização dos estudantes sobre o elétron no pré-teste e pós-teste.....	98
Figura 39 - Questão um da atividade dois.....	99
Figura 40 - Resultados encontrados para as duas questões da atividade dois.....	100

Figura 41 - Questão três da atividade três envolvendo o modelo de Schrödinger.....	102
Figura 42 - Identificação dos modelos de Schrödinger e Bohr através do objeto de visualização pictórico da simulação.....	103
Figura 43 - Questão quatro da atividade três envolvendo o modelo de Bohr.....	104
Figura 44 - Identificação do tipo de salto do elétron no modelo de Bohr e Schrödinger.....	105
Figura 45 - Identificação da espectroscopia no modelo de Bohr e Schrödinger.....	106
Figura 46 - Identificação da espectroscopia no modelo de Bohr e Schrödinger.....	107
Figura 47 - Análise de coerência interna da questão um do pré-teste e pós-teste.....	120
Figura 48 - Respostas parcialmente coerentes.....	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Publicações encontradas na revisão bibliográfica relacionada ao ensino de modelos atômicos.....	48
Quadro 2 – Etapas e critérios de refinamento e o número de publicações em português (PT BR) e inglês (ING).....	62
Quadro 3 – Publicações que utilizaram a simulação Modelos para o átomo de Hidrogênio.....	63
Quadro 4 - Configurações de exploração da simulação durante os encontros síncronos.....	78
Quadro 5 - Estudantes que mantiveram o diagrama do modelo atômico com base em Rutherford.....	111
Quadro 6 - Estudantes que apresentaram e mantêm o diagrama do modelo atômico com base em Bohr.....	112
Quadro 7 - Estudantes que não apresentam diagrama e passam para modelo atômico com base em Rutherford.....	114
Quadro 8 - Estudantes que apresentam diagrama com base no modelo de Rutherford e passam para modelo atômico com base em Bohr.....	114
Quadro 9 - Estudantes que apresentam diagrama com base no modelo de Rutherford e Bohr e passam para modelo atômico com base em De Broglie e Schrödinger.....	116
Quadro 10 - Estudantes que apresentam diagrama com base no modelo de Rutherford e Bohr e passam para múltiplas representações do modelo atômico.....	117
Quadro 11 - Estudantes que apresentam diagrama com base no modelo de Rutherford e Bohr e passam para múltiplas representações do modelo atômico.....	118
Quadro 12 - Estudantes que mantiveram a resposta sem coerência interna ou com a mesma coerência parcial.....	122
Quadro 13 - Estudantes que passaram de uma resposta incompleta ou sem coerência interna para coerência parcial.....	123
Quadro 14 - Estudantes que passaram de uma resposta sem coerência interna ou	

parcial, para coerência interna.....123

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. A PERSPECTIVA COGNITIVA E A VISUALIZAÇÃO.....	26
2.1 A ARQUITETURA COGNITIVA COMO PREMISA PARA A VISUALIZAÇÃO... 28	
2.2 OS OBJETOS DE VISUALIZAÇÃO E A MEMÓRIA DE TRABALHO.....34	
2.3 A VISUALIZAÇÃO INTERPRETATIVA E A COERÊNCIA REPRESENTACIONAL.....38	
3. O ENSINO DE MODELOS ATÔMICOS.....	43
3.1 OS MODELOS ATÔMICOS E SEUS PRECEITOS..... 43	
3.2 CONSTRUÇÕES VISUAIS DE ESTUDANTES SOBRE OS MODELOS ATÔMICOS EM PUBLICAÇÕES DA ÁREA ENSINO DE CIÊNCIAS..... 48	
3.3. DIFICULDADES INTRÍNSECAS AO ENSINO DE MODELOS ATÔMICOS E DE EXPLORAÇÕES METODOLÓGICAS.....56	
3.4 OS MODELOS ATÔMICOS E O USO DA SIMULAÇÃO PHET.....61	
4. A EXPLORAÇÃO DA SIMULAÇÃO SOB A PERSPECTIVA DA VISUALIZAÇÃO.....	68
4.1 O FAVORECIMENTO DAS EXPERIÊNCIAS VISUAIS ATRAVÉS DOS OBJETOS DE VISUALIZAÇÃO.....71	
4.2 O PROCESSO DE ANÁLISE DAS VISUALIZAÇÕES INTERPRETATIVAS.....79	
5. A VISUALIZAÇÃO SOBRE MODELOS ATÔMICOS.....	88
5.1 A VISUALIZAÇÃO INTERPRETATIVA DOS ESTUDANTES..... 89	
5.2 A EVOLUÇÃO REPRESENTACIONAL DA VISUALIZAÇÃO INTERPRETATIVA DOS ESTUDANTES.....108	
5.3 A COERÊNCIA REPRESENTACIONAL DA VISUALIZAÇÃO INTERPRETATIVA DOS ESTUDANTES.....119	
6 CONSIDERAÇÕES E APONTAMENTOS FINAIS.....	125
REFERÊNCIAS.....	130
APÊNDICE A – ATIVIDADE 1.....	137
APÊNDICE B – ATIVIDADE 2.....	139

APÊNDICE C - ATIVIDADE 3.....	141
APÊNDICE D - ATIVIDADE 4.....	147

1. INTRODUÇÃO

No contexto do ensino de ciências o uso de objetos visuais, como gráficos, tabelas, e diagramas, entre outros formatos, são utilizados com o intuito de expressar conceitos em isolado ou ainda interligados, e são considerados pilares fundamentais para a compreensão dos conceitos científicos específicos e sua área de domínio (SCHEID *et al.*, 2015). Para além das informações conceituais de forma verbal/textual, um mesmo conceito pode ser apresentado como gráficos, por exemplo, como na física ao descrever o deslocamento de forma numérica relacionando a velocidade e o tempo. Ou ainda, como equações matemáticas, relacionando grandezas, elementos pictóricos ao representar elementos químicos e equações de reações na área da química.

Compreender os conceitos científicos exige dos estudantes a capacidade de interpretar as informações nas diferentes formas de reproduzir um conceito, e ainda interligar as distintas simbologias de representação.

Entretanto, dificuldades de ensino são encontradas na literatura associadas a externalização de modelos, que podem estar diretamente ligadas às experiências visuais dos estudantes. Durante a resolução de problemas (perguntas, questões, atividades), os estudantes podem buscar soluções através da tentativa e erro, ou a partir de experiências sobre questões similares. Nesse caso, interpretar gráficos se torna mais fácil quando em sua memória há experiências anteriores que podem ser utilizadas como base para interpretação das novas informações apresentadas neste mesmo formato visual.

Em casos nos quais os estudantes não possuem uma estrutura sobre determinados conceitos, os estudantes mostram certa dificuldade quanto à interpretação de informações visuais. Questões relacionadas à falta de compreensão de informações disponibilizadas por meio de gráficos por parte dos estudantes, evidenciam um cenário associado à falta de desenvolvimento da habilidade de visualização que deve ser desenvolvida em situações de ensino, e necessitam de uma instrução direta sobre os convenções representacionais, - legendas, rótulos -, envolvidas (LOWRIE; LOGAN; HEGARTY, 2019).

A construção ou identificação de diagramas esquemáticos sobre conceitos também são limitações para a compreensão e externalizações por parte dos estudantes, como por exemplo, quando são abordados diagramas de distribuição de

elétrons em ligações químicas (COOPER; GROVE; UNDERWOOD, 2010; NKOSI; MNGUNI, 2020). Essa falta de compreensão ou capacidade visual dos estudantes, pode ser uma consequência da falta de integração de informações visuais e conceituais presentes em materiais e abordagens de ensino. A apresentação da informação de forma segmentada entre visual e textual (escrita ou oral), é uma decisão metodológica que dificulta a relação entre essas informações quando apresentadas ao aprendiz, pois implica que eles tenham de fazer isso por si, sobrecarregando suas estruturas cognitivas ao processar além das informações textuais e visuais de forma isolada, tenham também de estabelecer a relação entre elas (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011). Quando estabelecemos essa relação já na apresentação dos materiais e na abordagem de ensino, facilitamos o processo reduzindo a quantidade de esforço cognitivo que o estudante precisa realizar para compreender os conceitos científicos que estão sendo estudados.

Assim, o conceito de visualização, - originado na psicologia cognitiva - , traz ao ensino de ciências a importância de se considerar as experiências visuais dos estudantes durante o processo de ensino como parte da aprendizagem, e também de investigar esse contexto em pesquisas na área de ensino de ciências. Destacando a necessidade de instrução direta sobre o processo de visualizar informações e elementos relacionados à apresentação dos conceitos. Sendo então, um ponto crucial para percepção, discussão e orientação de abordagens visuais. Visualizar é entendido, então, como uma competência que deve e precisa ser desenvolvida pelos estudantes através da instrução, pois possibilita a compreensão de conceitos abstratos que são representados através de construções pictóricas para facilitar o processo de compreensão dos conceitos (MNGUNI; SCHONBORN; ANDERSON, 2016).

Essa percepção sobre o processo de visualizar, considerando a relação entre os materiais utilizados, ou seja, os objetos visuais construídos com a finalidade de ensinar, e os processamentos cognitivos sobre esses elementos orientam decisões metodológicas instrucionais (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011). Principalmente no que tange o uso de recursos visuais desenvolvidos por meio das tecnologias digitais, e que se destacam quanto ao seu uso no contexto de ensino, cenário que vem sendo mapeado em pesquisas e estudos (MARTINS; GARCIA, 2011; COSTA, 2017).

Entretanto, as abordagens realizadas em pesquisas, ainda se mostram com pouca profundidade no que se refere em destacar a relação entre o que se ensina a partir de informações visuais, ou como pode ser a exploração de ferramentas visuais, como simulações, para se alcançar resultados de aprendizagem relacionados aos objetos visuais que são utilizados para a discussão dos conceitos. Ou ainda, evidenciando um cenário pouco promissor quanto aos estudos direcionados para as contribuições dos objetos visuais para o ensino de ciências. É possível que este cenário ocorra pois

parte-se do falso pressuposto que certas representações visuais “falam por si” e que assim como somos capazes de enxergar os conteúdos físicos que as embasam, os alunos de pronto também o podem, bastando visualizá-las para que o entendimento do conteúdo emergja (ARAÚJO E VEIT, 2008, p. 4).

Ou seja, há um pragmatismo que conclui que o que é visualizado pelo estudante é prontamente interpretado e compreendido por ele, assim como especialistas da área de conhecimento que está sendo abordado é capaz de fazer.

Nesse contexto, as simulações proporcionaram ao ensino a melhora quanto à abordagem de conteúdos específicos de ciências, sendo uma ferramenta importante para evidenciar visualmente conceitos científicos, e complementando ainda atividades bastante utilizadas, como por exemplo as de experimentação. Entretanto, há ainda uma falta de pesquisas que direcionam e evidenciam como professores podem escolher, explorar ou mesmo projetar simulações de forma mais eficiente com relação aos aspectos visuais dessas ferramentas (MEJIA, 2011, p.i). Há ainda, um cenário pouco conhecido com relação a quais aspectos/elementos visuais da simulação contribuem para a aprendizagem, e como potencializar essa experiência visual para o estudante. Ou seja, mesmo havendo diversas simulações computacionais, pouco se busca conhecer em pesquisas e estudos suas contribuições relacionadas à instrução, e o quanto estas podem ser eficientes para o ensino (MEJIA, 2011 *apud* HAYS, 2006).

Desde a difusão do computador pessoal, diversas simulações foram construídas e aplicadas no ensino. Em 2002 o projeto Physics Education Technology Project (PhET), associado à Universidade do Colorado (Boulder), desenvolveu simulações destinadas ao ensino de ciências (Física, Química, Biologia e Matemática) baseadas em pesquisas da área, utilizando como ponto de partida avaliação por pares, aplicações e reavaliações. Um dos pontos destacados pelo

grupo, em sua página oficial¹, é que os projetos são desenvolvidos buscando o envolvimento dos estudantes para que sejam ferramentas produtivas, mas que ainda fica em aberto os detalhes relacionados a como cada recurso das simulações afeta diretamente a compreensão do estudante sobre o conteúdo que a simulação aborda, como ponto de interesse de pesquisa do próprio grupo.

Considerando que o cenário em que: (i) as simulações são ferramentas majoritariamente visuais que associam diferentes elementos, (ii) são utilizadas como forma de apresentar visualmente aos estudantes conceitos e processos das ciências, (iii) e que ainda há uma lacuna quanto a sua eficácia associada ao seu papel no ensino de forma visual, surgem alguns questionamentos. Podemos direcionar o olhar sobre estas ferramentas partindo da perspectiva da visualização, tendo como foco os objetos de visualização que são construções físicas pensadas e construídas com o intuito instrucional de conceitos de ciências.

É a partir desses objetos de visualização que o estudante constrói suas externalizações durante a resolução de problemas, e isso é compreendido como sendo sua visualização interpretativa que ocorre a partir de suas experiências visuais durante o processo de ensino e aprendizagem. Assim, a perspectiva da visualização, em especial o conceito dos objetos de visualização, podem nortear as decisões pedagógicas e orientar a exploração das simulações, em especial a explorada no presente estudo, com o intuito de compreender duas questões que emergem desse cenário, sendo:

- I. *Quais os efeitos do uso de uma simulação sobre a visualização interpretativa dos estudantes?*
- II. *Qual o potencial de visualização de uma simulação enquanto recurso visual para o ensino de modelos atômicos?*

Um dos questionamentos do PhET sobre as simulações construídas pelo grupo de pesquisa é compreender as contribuições que elas oferecem ao ensino referente aos tópicos tratados nas simulações para a aprendizagem dos estudantes. Nesse ponto, são realizadas entrevistas com estudantes que exploram a simulação para que a partir do feedback deles sejam feitas correções, ou melhorias quando necessário. O protocolo de entrevistas envolve estudantes que exploram a

¹Mais detalhes sobre os interesses de pesquisa do grupo PhET podem ser vistos acessando <https://phet.colorado.edu/pt_BR/research>.

simulação sem orientação, professores em formação inicial e formados da área de ensino do conteúdo específico da simulação. Essas etapas buscam garantir que as construções visuais alcancem os objetivos traçados no início do projeto. Essas informações podem ser consultadas na página oficial do grupo de pesquisa, no qual há a descrição do processo de criação, avaliação, e pesquisas realizadas pelo grupo.

As simulações construídas pelo grupo PHET são embasadas em pesquisas realizadas na área de ensino que buscam compreender as dificuldades de aprendizagem que os estudantes apresentam sobre os conceitos de ciências, e também estudos relacionados a teorias cognitivas que estudam o processamento de informações e em como favorecer esses processos de interpretação de elementos visuais como parte do ensino e aprendizagem. A estrutura de apresentação das informações na simulação são pensadas e desenhadas considerando a existência de uma estrutura cognitiva pré definida que o estudante irá utilizar para interpretar e processar cada objeto visual apresentado na simulação, sabendo que essa estrutura cognitiva possui limites de tratamento de informação. As simulações desenvolvidas pelo grupo vão ao encontro dos interesses da presente pesquisa.

Um dos pontos destacados pelos desenvolvedores está associado à analogia, e a relevância dessa abordagem para representar conceitos abstratos da ciência, e o quanto estas contribuem para a compreensão sobre os temas de maior dificuldade entendimento para os estudantes. É importante ressaltar que pesquisas na área de ensino sobre as dificuldades de aprendizagem orientam a decisão de quais conteúdos serão abordados nas simulações. Os tópicos e conceitos escolhidos para serem abordados em uma simulação são justamente os que estão presentes em pesquisas que mostram maiores dificuldades de compreensão dos estudantes.

Todo o método de desenvolvimento das simulações, desde a decisão de escolha do conteúdo a ser abordado, o projeto visual de elementos a serem mostrados, os pontos de interações que são ofertados aos estudantes a partir dos botões, as cores utilizadas, os pontos de divisão em diferentes telas, são balizadas e norteadas por pesquisas realizadas no ensino de ciências.

Observando estes aspectos que orientam o grupo, e que estão em acordo com os objetivos da presente pesquisa, a escolha da simulação a ser explorada sob o prisma da visualização ocorreu entre as produzidas pelo grupo PhET.

Entre as áreas da ciência que são foco de produção do grupo, a química tem trazido pesquisas que têm buscado metodologias que orientem os professores no desenvolvimento de atividades que tornem os conceitos químicos abstratos mais claros aos estudantes. De modo geral, os estudos buscam encontrar abordagens que contribuam para a compreensão dos estudantes relacionadas às percepções visuais do mundo concreto e sua relação com os modelos científicos explicativos (DORI; BARAK, 2001; GILBERT; TREAGUST, 2009; TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2010; DU PLOOY, 2012; SILVA; CINTRA, 2013; CHIU; DEJAEGHER; CHAO, 2015; MELO, 2015; LOCATELLI, 2016; REINALDO, 2019), relacionadas aos conteúdos, como por exemplo, oxirredução, mudança de fases, substâncias.

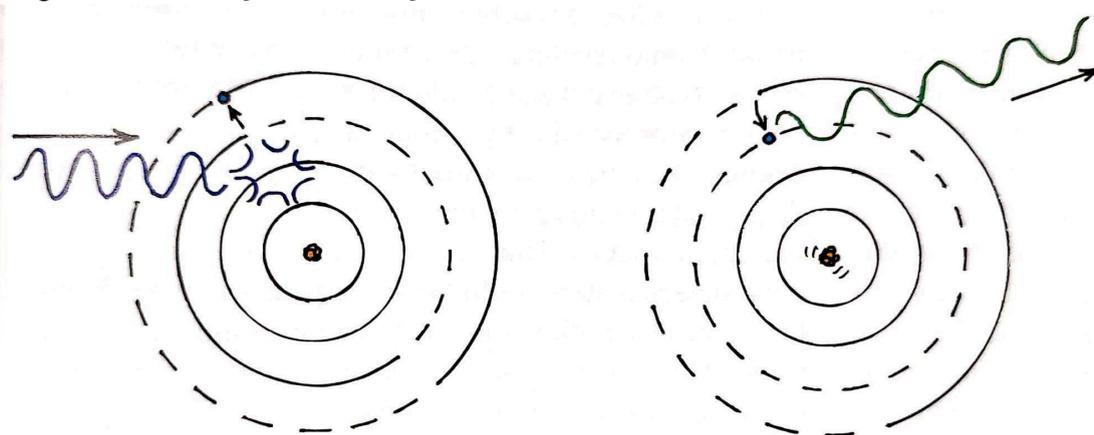
O principal objetivo destes estudos, é a busca por estabelecer uma relação entre as atividades em meio concreto, por meio das experiências visuais, como por exemplo, experimentos químicos, com a explicação cientificamente correta, com base nos modelos atômicos, moleculares e/ou iônicos.

E embora exista essa preocupação com a contribuição das experiências visuais dos estudantes, e em buscar uma metodologia para estabelecer uma relação com estas experiências e as explicações científicas ensinadas. Ou seja, fazendo com que os estudantes saibam transitar entre objetos visuais, não há um direcionamento que embase a compreensão do professor em como esse processo (a visualização) pode ser entendido cognitivamente. E ainda em como construir uma proposta didática de abordagem capaz de direcionar os estudantes em uma percepção do mundo visual concreto a partir de objetos visuais.

Assim, o objeto de estudo definido foi a simulação Modelo do Átomo de Hidrogênio, considerando que esse é um conhecimento de fronteira (Física-Química), permeando o ensino de ciências da natureza. A teoria do modelo atômico é fundamental para compreensão de outras definições científicas, como por exemplo, na termodinâmica ao abordar o conceito de energia térmica, especificamente na Física. Ou ainda, na formação de moléculas a partir das ligações químicas, assim como na compreensão da organização e informações presentes na tabela periódica ao identificar os diferentes elementos e suas características. Na explicação da espectroscopia, que está alicerçada no entendimento integral de um modelo atômico envolvendo faixas de energia, da interação entre fótons e os elétrons, e sua mobilidade entre diferentes faixas. A relação entre absorção e

liberação de energia pelo elétron, resultando em diferentes colorações de luz observadas, está ligado diretamente a compreensão conceitual dos diferentes modelos atômicos e proposições de suas configurações de estrutura 'física', como camadas, níveis de energia, comportamento do elétron, saltos quânticos. Para o modelo atômico idealizado por Niels Bohr, a absorção de um fóton, que por definição é entendido como pacote de energia, por um elétron, aumentará sua energia, fazendo com que mude de nível de energia, saindo de um nível mais interno para um mais externo, devido a sua nova energia. O oposto ocorrerá quando o elétron liberar um fóton, reduzindo sua energia, ele irá para uma camada mais interna, de menor energia. Ou seja, cada camada na eletrosfera possui um nível de energia bem definida e que deve corresponder a energia que o elétron possui, o que faz com que o elétron realize saltos quando sua energia é alterada (Figura 1).

Figura 1 - Absorção e liberação de fóton de acordo com o modelo atômico de Bohr.



Fonte: Hewitt, 2002.

No caso do modelo atômico idealizado por Erwin Schrödinger em que propõem a existência de orbitais como estruturas em forma de nuvem de probabilidade na qual o elétron pode ser encontrado, a mudança ocorre no formato do orbital quando há a absorção de energia (fóton) e liberação.

Ao abordar esse conteúdo no ensino, os estudantes precisam compreender as formas como os modelos se configuram teoricamente, e ainda quais as previsões podem ser feitas de acordo com o modelo atômico adotado. Há proposições que não conseguem oferecer explicações para essa situação de absorção e liberação de fótons, como por exemplo o modelo de John Dalton que por tornar o átomo como

maciço e indivisível não permite a explicação do fenômeno estudado pela espectroscopia.

Essas abordagens exigem dos estudantes grande habilidade visual, devido ao alto grau de abstração envolvido em compreender e interpretar os modelos atômicos construídos ao longo da história, sendo que estes são o ponto de partida para que possam entender outros diversos conteúdos e conceitos científicos, como por exemplo o estudo da espectroscopia de absorção e emissão. Assim, a hipótese 0 da pesquisa é que os estudantes possuem dificuldades de externalizar e construir explicações sobre os modelos atômicos e aos fenômenos associados aos modelos. E no caso de uma análise em testes com questões associadas ao conteúdo, o desempenho por questão individual quando comparado a um bom resultado em várias questões conjuntas/associadas, pode mostrar que há falta de coerência representacional nas externalizações dos estudantes nos testes, evidenciando a dificuldade com relação a construção da visualização interpretativa dos estudantes sobre esse tópico de conhecimento. E esse cenário não possui relação com a baixa exploração de recursos visuais, como simulações, ou com as decisões metodológicas das mesmas.

A hipótese 1 da pesquisa contraria a hipótese 0, ou seja, o uso da simulação e a forma como é realizada a utilização da ferramenta realmente auxilia no desenvolvimento da habilidade de visualização dos estudantes por favorecer as experiências visuais dos estudantes. E ao realizar a análise com testes com questões sobre o tema, será possível analisar um cenário no qual haverá coerência visual existente entre as externalizações das visualizações interpretativas dos estudantes para as perguntas das atividades, pois os resultados individuais e por grupos de questões será proporcional e com bons resultados.

Dessa forma a proposta da presente pesquisa é a investigação do uso da simulação com base na visualização, com o objetivo geral de avaliar a sua contribuição para a visualização interpretativa dos participantes da pesquisa, buscando identificar as contribuições dos objetos de visualização presentes na simulação sobre modelos atômicos. Os objetivos específicos do estudo foram:

- I. Explorar os objetos de visualização presentes na simulação alicerçado na concepção da arquitetura cognitiva
- II. Analisar quais as contribuições dos objetos de visualização para o ensino de modelos atômicos

- III. Investigar o potencial de desenvolvimento da habilidade visual a partir da coerência representacional.
- IV. Identificar a contribuição dos objetos de visualização para a visualização interpretativa dos estudantes

Para conhecer o cenário que constituiu a pesquisa é necessário primeiro delinear os processos cognitivos previstos pela visualização e sua base teórica (capítulo 2), conseqüentemente, foi fundamental buscar na literatura os diagramas que os estudantes apresentaram em estudos sobre os modelos atômicos, as dificuldades intrínsecas ao conteúdo, e ainda as pesquisas que já exploraram essa simulação (capítulo 3). A partir desse contexto pode-se então construir uma proposta de exploração dos objetos de visualização presentes na simulação, com o intuito de favorecer o processo de visualização (capítulo 4) e que foi analisado (capítulo 5) a partir das respostas às questões aplicadas aos estudantes.

2. A PERSPECTIVA COGNITIVA E A VISUALIZAÇÃO

O ensino das ciências naturais (química, física, biologia e matemática) exige em seu processo de aprendizagem, alto grau de abstração por parte dos estudantes. Os modelos construídos pela ciência se originam de uma realidade parcial e fracionada, por meio de simplificações elaboradas e formuladas por meio da percepção humana sobre a natureza. A compreensão desses modelos por parte dos estudantes é o objetivo final do ensino.

O termo modelo é bastante polissêmico (GRECA; SANTOS, 2005; MENDES, 2009), havendo diferentes definições construídas por autores que discutem o termo. Algumas perspectivas conceituais mostram certa proximidade, porém não há uma única definição para o termo modelo. Em alguns casos há a divisão em diferentes categorias e definições, como modelos mentais, conceituais, físicos, matemáticos, computacionais (ORNEK, 2008). Pode-se descrever, em linhas gerais, que os modelos mentais, conceituais e físicos estão associados a construções imagéticas sobre conceitos, enquanto modelos matemáticos e computacionais são construções concretas de pensamentos e conceitos (HESTENES, 1987; ORNEK, 2008; PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010). Particularmente, é possível considerar duas linhas principais referentes a definição de modelo. A primeira, baseada sobre uma percepção associada à cognição, e outra a elementos concretos visíveis.

Em outros casos, há uma segmentação entre modelos mentais e de objetos/científicos, que precisam ser aceitos pela comunidade científica (CHAN RUNDGREN e YAO, 2014). Há ainda a compreensão da existência de modelos representacionais, que podem ser classificados como concretos, verbais (texto/fala), simbólicos, gestuais e visuais, de acordo com sua forma de apresentação (GILBERT, 2005).

Para o presente estudo, o conceito de modelo é compreendido como criações teóricas construídas a partir de recortes de acontecimentos do mundo físico, e são utilizados para explicar situações dentro do seu domínio de validade, fazer previsões teóricas e experimentais, e ainda solucionar situações problemas (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010; MNGUNI, 2014). Para apresentar esses modelos podemos fazer uso de diferentes elementos constituindo um conjunto de representantes, como por exemplo, linguagem matemática, diagramas, esquemas,

gráficos, entre outros. Esses elementos utilizados para expressar os modelos consensualmente aceitos pela comunidade científica e estudado nos momentos de ensino, podem ser compreendidos como os objetos de visualização que são construídos e elaborados com o objetivo instrucional, como por exemplos, gráficos, tabelas, símbolos numéricos, texto (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010). O modelo em si é definido então, por conceitos conectados que constituem base teórica com domínio de validade que subsidiam previsões e explicações sobre recorte do mundo concreto (ORNEK, 2008).

Para que se alcance o ensino e aprendizagem estimado como satisfatório, é preciso desenvolver junto ao estudante a habilidade de compreender este conjunto de objetos utilizados para apresentar as informações referentes ao modelo, ou seja, os conceitos foco de estudo. E ainda, que sejam capazes de utilizar esses objetos de visualização referentes a apresentação de um modelo para construir respostas corretas e coerentes cientificamente diante da resolução de problemas e tarefas. Ou seja, que consigam utilizar diferentes objetos para expressar suas resoluções e explicações para situações problema, respeitando o domínio de validade dos objetos, que está diretamente associado ao campo de validade do modelo.

O processamento cognitivo desses objetos, ou seja, das informações associadas ao modelo que está sendo estudado, pode ser compreendido através da concepção da presença de uma arquitetura cognitiva pré-existente que pode ser explorada de forma eficiente por meio de certas escolhas instrucionais. Nessa arquitetura as informações são interpretadas, integradas e armazenadas. Após essa etapa, as informações podem ser resgatadas dentro dessa estrutura e expressadas pelos estudantes. Assim, é possível acompanhar a compreensão destes sobre os conceitos estudados. A capacidade de expressar respostas coerentes cientificamente durante a resolução de problemas por meio dos objetos de visualização, é um indicativo de que o processamento das informações, a organização dos conceitos e suas conexões foi bem elaborado e interpretado, e está disponível na arquitetura para ser recuperado em momentos de resolução de tarefas. Essa perspectiva é abordada com maior profundidade na próxima seção.

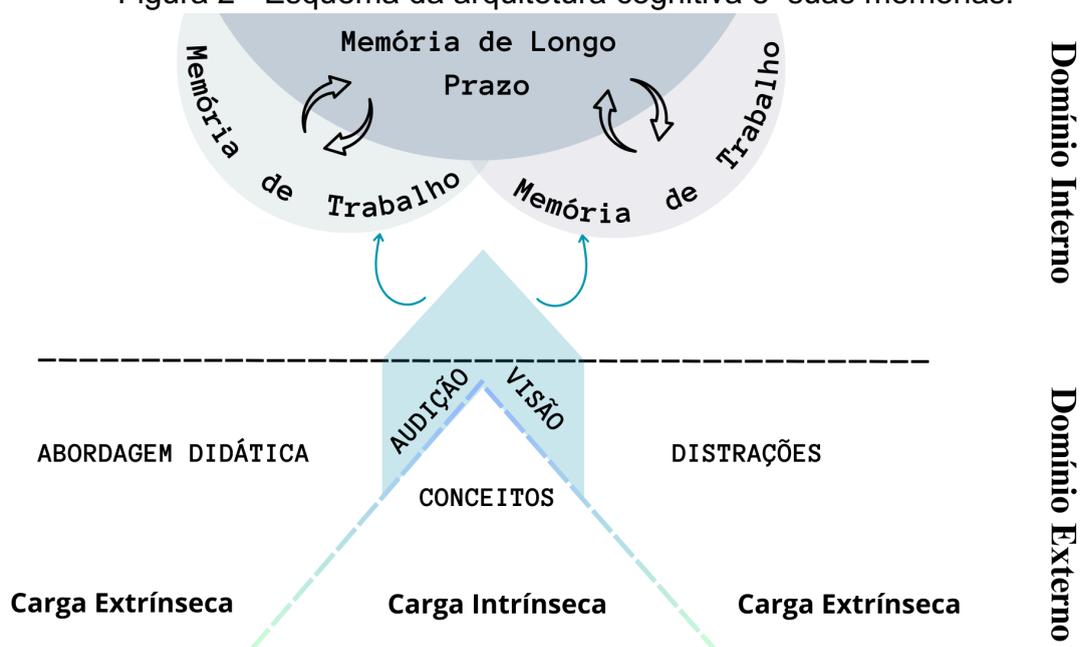
2.1 A ARQUITETURA COGNITIVA COMO PREMISSA PARA A VISUALIZAÇÃO

Pesquisas relacionadas ao ensino de ciências que se embasam em conceitos provenientes da psicologia cognitiva, como os estudos de Clark e Paivio (1991), Mayer (2014), Mnguni (2014), Mnguni, Schönborn e Anderson (2016), Sweller, Ayres e Kalyuga (2011), consideram que a aprendizagem ocorre a partir da inter-relação entre um domínio externo (mundo concreto) e um domínio interno (cognição), ou seja, a apresentação de um conjunto de representantes com objetivo educacional e o processamento dessas informações. Essa relação entre o mundo interno e externo se dá por meio de uma arquitetura cognitiva pré-existente, que é responsável por processar as informações que lhe são apresentadas. Essa arquitetura é organizada, em sua grande parte, em memória de trabalho e memória de longo prazo.

Inicialmente as informações são processadas rapidamente pelo sistema sensorial, de forma visual e auditiva (SWELLER; AYRES; KAYLUGA, 2011). Em seguida, essas informações passam para a memória de trabalho, sendo essa a parte responsável por processar as informações que nela chegam, sendo que esse processamento é limitado. Ou seja, a memória de trabalho é capaz de processar apenas uma determinada quantidade de elementos ao mesmo tempo. Há suposições de que o limite de elementos seriam de em média sete itens por vez, ficando entre cinco ou nove objetos (MILLER, 1956). Podemos considerar então que a cada momento a memória de trabalho compara, organiza, relaciona e processa uma quantidade específica de objetos de visualização por vez.

Após essa etapa, as informações organizadas são armazenadas na memória de longo prazo como esquemas, formados por meio da conexão dos diferentes elementos, que poderão ser resgatados posteriormente em momentos de estudos, e resolução de problemas (Figura 2).

Figura 2 - Esquema da arquitetura cognitiva e suas memórias.



Fonte: Elaborada pela autora.

Assim, para alcançar a aprendizagem, é necessário avaliar a capacidade de informação que pode ser processada e em como pode-se potencializar essa etapa de ensino evitando a sobrecarga de informação nesta memória.

Um ponto crucial para compreender o processamento de informações, além da concepção de uma arquitetura cognitiva, está na definição do conceito de carga cognitiva definido nos estudos realizados Sweller, Ayres e Kalyuga (2011), que é entendido pelos autores como a capacidade cognitiva de processamento de informações da arquitetura cognitiva. No momento em que esse limite de informações que podem ser tratadas na estrutura cognitiva é ultrapassado, geramos uma sobrecarga que interfere diretamente na aprendizagem do estudante de forma negativa.

Podemos entender a carga como uma ramificação de duas estruturas de carga, a intrínseca e extrínseca. A carga intrínseca está associada ao modelo e os conceitos foco de estudo que precisam ser compreendidos pelo estudante, e que não há como ser alterado pois está atrelada ao conteúdo. A carga extrínseca é proveniente das decisões metodológicas referentes ao formato da abordagem instrucional, ou seja, pode ser administrada através de escolhas mais conscientes e claras em como abordar o conteúdo, o que é relevante em cada momento de ensino, em qual formato. Essas decisões podem facilitar o processo de aprendizagem.

Com base nessa perspectiva, é possível então equacionar as cargas cognitivas durante a abordagem dos conceitos, admitindo que a carga total que a memória de trabalho terá de processar é resultado da soma da carga intrínseca (nível de dificuldade do conteúdo), somada a carga extrínseca (decisões de abordagem instrucional). Evitando assim a sobrecarga de informação para processamento.

O controle da carga extrínseca pode ser realizado selecionando quantidades específicas de objetos de visualização que devem ser visualizados e interpretados na memória de trabalho. Além disso, podemos favorecer a estrutura da memória de trabalho que possui canais independentes de tratamento da informação visual e auditiva (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011), ao oferecer informações de forma verbal (fala/texto) e não-verbal (objetos visuais) (CLARK; PAIVIO, 1991).

Entende-se que essas duas modalidades de apresentação são disponibilizadas à memória de trabalho por canais independentes (verbal e não-verbal) e “[...] o processador da memória de trabalho que lida com informações auditivas é diferente do processador da memória de trabalho que lida com informações visuais” (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011, p.44). Cada canal poderá processar os objetos de forma independente sem interferir nas informações do outro. Quando favorecemos esses dois canais, ampliamos a proporção de informação que o estudante irá tratar sem sobrecarregar sua memória de trabalho. Quando favorecemos apenas um dos canais, não utilizamos toda a potencialidade que o aprendiz possui de processamento dos elementos de acordo com a estrutura da arquitetura cognitiva. Esse é um fator importante e que implica diretamente nas tomadas de decisões pedagógicas e metodológicas na abordagem dos conteúdos, relacionados a ferramentas, etapas de estudos, questões problemas a serem lançadas.

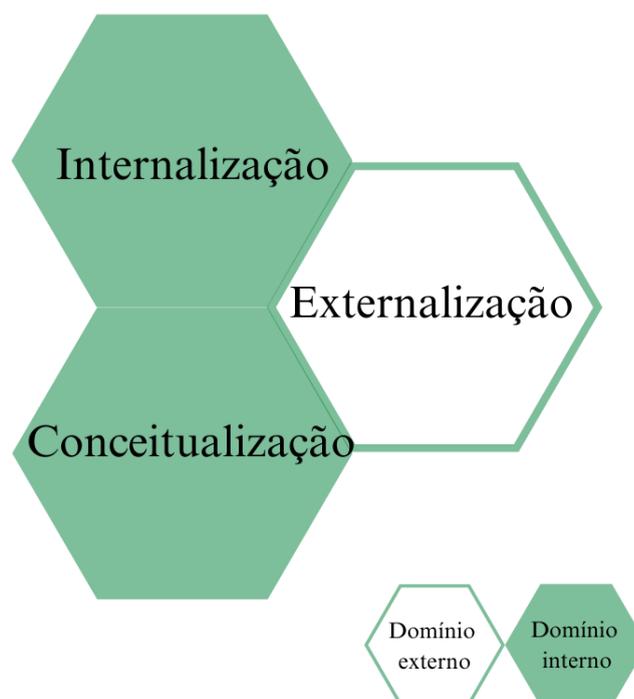
Após essa etapa as informações são organizadas em um esquema que é armazenado então na memória de longo prazo. Neste caso

um esquema pode ser definido como uma construção cognitiva que nos permite classificar os vários elementos de informação em um único elemento de acordo com a maneira em que os vários elementos são utilizados (CHI; GLASER; REES, 1982 apud SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011, p.22).

A construção desses esquemas se dá a partir da interação dos elementos que são internalizados e conceitualizados (MNGUNI, 2014; MNGUNI; SCHÖNBORN; ANDERSON, 2016, NKOSI; MNGUNI, 2020).

Estes esquemas são então posteriormente recuperados pelos estudantes em situações em que novos elementos (em processamento na memória de trabalho) possam interagir/integrar esquemas pré-existentes (memória de longo prazo), ou em situações de resolução de problemas e tarefas, sendo externalizados em formato de respostas a atividades avaliativas no formato de palavra escrita/falada (verbal) e/ou visualmente (não-verbal) (MNGUNI, 2014; MNGUNI; SCHÖNBORN; ANDERSON, 2016). Em uma visão geral pode-se pensar em três processos cognitivos não lineares que ocorrem no momento da interação entre os domínios (interno e externo), sendo a internalização, conceitualização e a externalização (Figura 3) .

Figura 3 – Diagrama construído com base Nkosi e Mnguni (2020).



Fonte: Elaborada pela autora.

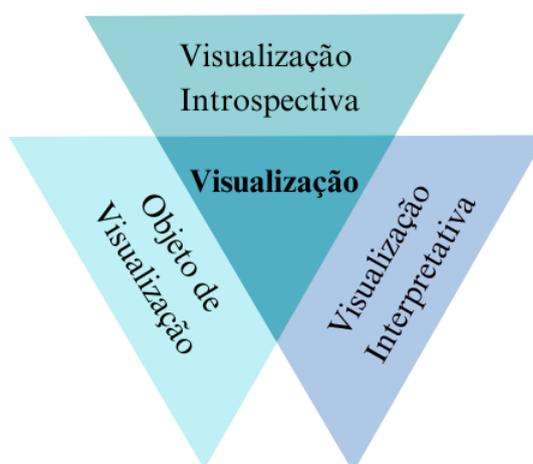
Portanto, características relacionadas a apresentação dos modelos estudados possuem grande impacto quanto ao alcance dos objetivos educacionais estabelecidos, assim como para os formatos avaliativos construídos. Considerando a existência da arquitetura cognitiva no qual a memória de trabalho processa de forma independente informações verbais e não-verbais, instruções educacionais

pautadas nessa perspectiva devem considerar a relevância da concordância dessas duas formas de apresentação, que devem ser complementares para evitar desgaste e sobrecarga de informação (CLARK; PAIVIO, 1991; MAYER, 2014), o que direcionou os pesquisadores a pensar na relevância das experiências visuais propiciadas aos estudantes e como eles as interpretam, e que é entendido como visualização (GILBERT; REINER; NAKHLEH, 2008; GILBERT; TREAGUST, 2009; PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010; VAVRA *et al.*, 2011).

A termo visualização é visto e distinguido inicialmente como verbo, sendo a ação de construção de algo concreto que pode ser visualizado, e substantivo, sendo o processo mental de visualizar, a habilidade de processar cognitivamente informações visuais. (GILBERT; REINER; NAKHLEH, 2008; VAVRA *et al.*, 2011). Associando ambos os sentidos de visualização, entendemos que há uma relação sendo estabelecida entre os domínios externo e interno, que associa as experiências visuais apresentadas aos estudantes (domínio externo) e o processamento e interpretação dessas na estrutura cognitiva (domínio interno).

Em uma perspectiva (GILBERT; REINER; NAKHLEH, 2008; GILBERT, TREAGUST, 2009) a visualização se ramifica no sentido de representações internas (cognição) e representações externas (mundo concreto), distinguida em níveis, sendo o macroscópico (fenômeno natural), sub-microscópico (representação de átomos, íons, moléculas) e simbólico (fórmula matemática, equação química). Em paralelo (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010; VAVRA *et al.*, 2011) a visualização pode ser compreendida por meio de três conceitos centrais: a visualização introspectiva, visualização interpretativa e objeto de visualização (Figura 4).

Figura 4 – Diagrama da visualização com base em Vavra *et al.*, 2011.



Fonte: Elaborada pela autora.

O primeiro grupo de pesquisadores se alicerça na visualização como verbo, enquanto o segundo grupo de pesquisadores compreende que a visualização é o conjunto do sentido como verbo e substantivo do termo. Ou seja, de acordo com Gilbert, Reiner e Nakhleh (2008) o termo visualização é compreendido como o processo de atribuir um significado a uma dada representação interna, ou seja, são as construções mentais de um indivíduo, enquanto para Phillips, Norris e Macnab (2010) o termo visualização é ramificado de objeto de visualização, que é esta construção pictórica destinada à instrução (domínio externo), a visualização introspectiva, que é a construção imagética de uma experiência visual (objetos mentais) e a visualização interpretativa, que é o processo cognitivo ativo de conceituar e significar objetos de visualização ou visualizações introspectivas.

É relevante ressaltar que a visualização interpretativa está associada a mudança de pensamento a partir da interação com objetos de visualização e visualizações introspectivas, com esquemas já presentes na memória de longo prazo, e está associada à visualizações físicas ou mentais e suas interpretações (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB; 2010; VAVRA *et al.*, 2011).

Embora haja diferenças no emprego do termo visualização e suas ramificações, há um consenso entre os grupos em relação a importância de se entender que o mesmo, ou seja, o processo de construção de representações internas/visualizações ou visualizações introspectivas/interpretativas, é um ponto relevante no processo de ensino, e deve ser pensado a partir do domínio externo por meio dos objetos de visualização, para que haja o favorecimento e enriquecimento

das experiências visuais. E ainda, de que os estudantes precisam compreender as características da visualização para que esta contribua de forma positiva para a aprendizagem. Para ambos, visualizar – na perspectiva do conceito –, é uma habilidade que o estudante precisa desenvolver ao longo do processo de ensino-aprendizagem.

Em linha gerais, a busca dos estudos está voltada para a compreensão de como se pode potencializar as experiências visuais e verbais no momento de ensino, no entanto nesta pesquisa iremos usar como base os termos de acordo com a figura 4. Nesse contexto, os objetos de visualização orientam as experiências visuais, e são elaborados/selecionados objetivando a instrução, como gráficos e diagramas esquemáticos, por exemplo, ou ainda objetos mais complexos como animações e simulações. “Para maximizar os benefícios da visualização, é aconselhável selecionar objetos de visualização adequados ao nível dos alunos” (VAVRA *et al.*, 2011, p.28), ou seja, de acordo com o conhecimento que os estudantes possuem em relação ao conteúdo e seus formatos de apresentação visual, pois há uma diversidade nos formatos dos objetos de visualização.

2.2 OS OBJETOS DE VISUALIZAÇÃO E A MEMÓRIA DE TRABALHO

Partindo de uma revisão ampla (250 publicações) sobre estudos relacionados à visualização no ensino de ciências, os autores Phillips, Norris e Macnab (2010) mostraram um amplo cenário de pesquisas neste viés. A partir do livro organizado pelos autores sobre as concepções de visualização presentes nos estudos revisados, é possível apontar cerca de doze objetos de visualização destinados ao ensino de ciências.

O primeiro objeto é o *i) Diagrama esquemático (DE)*, que é uma simplificação imagética construída com referência no modelo a ser estudado e permite certa objetividade para a experiência visual, oferecendo maior clareza sobre o que pretende expressar. Podemos utilizar um *DE* para apresentar, por exemplo, em menor escala um circuito elétrico, ou ainda, um conceito abstrato, como o diagrama de Linus Pauling. A tabela periódica faz uso do diagrama esquemático (entre outros objetos de visualização) com a finalidade de organizar os elementos químicos. Portanto, um *DE*, têm por objetivo, simplificar e organizar visualmente informações a serem estudadas.

A **ii) Tabela (T)** também apresenta estes objetivos, no entanto, esse objeto de visualização é organizado em linhas e colunas, e estabelece relação entre ao menos dois conceitos. Assim, como o **iii) Gráfico (G)** que estabelece relação entre conceitos através de dois eixos (x,y) - no caso do plano cartesiano - ou três eixos (x, y, z). Os objetos de visualização *T* e *G* possuem forte relação, e podem ser construídos servindo como base um para o outro, e vice-versa.

O objeto **iv) Informação Textual (IT)** é o mais difundido na área de ensino, é sempre utilizado em atividades, explanações e tarefas, assim como o **v) Simbólico Numérico (SN)** usado para expressar valores, presente em diferentes disciplinas, ganhando maior destaque nas enquadradas na área de exatas.

Para a exibição de algo concreto ou abstrato, o objeto **vi) Pictórico (P)** é utilizado no ensino para expressar, através de uma imagem ou desenho, conceitos e objetos, de modo estático, ou em conjunto formando o objeto de visualização **vii) Animação (ANI)**, mostrando, então, movimento de acordo com os preceitos do tema abordado. O objeto *ANI* pode conter um ou vários objetos *P*, ou ainda outros mais objetos que forem necessários para metodologia de ensino, assim como o objeto **viii) Simulação(S)**. A diferença entre *ANI* e *S* está na possibilidade de interação que os estudantes possuem com o objeto, no primeiro caso não há possibilidade de intervenção, o objeto está dado, pronto e finalizado, enquanto, no segundo caso, o estudante é capaz de intervir, modificando parâmetros.

O objeto de visualização **ix) Analogia (ANA)** consiste na relação estabelecida com outras características que são apresentadas para retratar outra informação, que não o do seu contexto original, como por exemplo o uso de cores ou formatos geométricos na construção da reprodução do modelo estudado. Um exemplo é utilizar esferas para representar partículas, e cores para classificação em elétrons e prótons, normalmente apresentados em azul e vermelho, respectivamente, A coloração é associada a cargas negativas (azul) e positivas (vermelhas).

Em contrapartida, o objeto **x) Realista (R)** usa a descrição real do que pretende explicar com todas as suas características, ou o objeto/corpo em si.

Outros dois objetos de visualização listados são o **xi) Interatividade (I)** e o **xii) Domínio de Validade (DV)**. O objeto *I* está associado ao nível de interação que o estudante possui com a ferramenta que está sendo oferecida. Ou seja, o quanto é permitido que ele explore, modifique, e analise parâmetros e outras características.

Como por exemplo o uso de um vídeo em que o estudante possa pausar, retornar ao início. Em alguns casos, a interação pode ser guiada com perguntas que devem ser respondidas para que o vídeo siga.

Uma outra situação pode ser uma reprodução digital de um experimento de ciências no qual o estudante possa mexer nos parâmetros para realizar testes. Ainda nesse cenário podemos ter o objeto *DV*, que têm por objetivo a exploração do campo de validade teórica do que está sendo abordado, do modelo estudado, testando assim os seus limites de predição para situações problema, respeitando o alcance teórico científico. Em alguns casos, imagens, vídeos, ou reproduções experimentais que simulam experimentos apresentam momentos que extrapolam os limites de validade teórico, podendo fomentar erros conceituais e visões distorcidas da ciência.

Os objetos de visualização podem ser utilizados de modo independente ou em associação, ou ainda, um objeto pode conter tantos outros objetos em si, como uma *tabela (T)* que contém *informação textual (IT)*, por exemplo.

No geral, as propostas metodológicas ou ferramentas utilizam mais de um objeto em um mesmo momento, porém vale ressaltar que em alguns casos é prudente utilizar os objetos em isolado e posteriormente associá-los, considerando que em alguns casos os estudantes não compreendem o objetivo ligado ao uso de cada um. Outro fator importante que deve ser lembrado está relacionado a limitação de processamento de informação da memória de trabalho que compõe a arquitetura cognitiva, pois utilizar múltiplos objetos

[...] pode facilmente levar os alunos à sobrecarga cognitiva, pois este trabalho é caracterizado por um alto nível de interatividade dos elementos (um dos fatores pelos quais a carga cognitiva pode afetar o processo de aprendizagem; Sweller, 1999) (SCHEID, *et al.*, 2015, p. 240).

Podemos entender esses elementos como os diversos objetos de visualização que se articulam para a apresentação de um dado modelo que será processado sendo transformado em um esquema.

Um exemplo simples que pode ressaltar algumas dificuldades de habilidade do estudante em compreender objetos de visualização diferentes e transitar sobre eles seria o uso do *gráfico* e da *tabela*. O estudante é capaz de entender o que a *tabela* retrata, porém não compreende o *gráfico*, e ainda a relação de transição das informações de um para outro.

Outro fator que impacta diretamente na aprendizagem dos estudantes está no conceito de carga intrínseca e extrínseca, sendo a primeira inerente a informação/conteúdo, e a segunda referente às decisões instrucionais metodológicas que são tomadas, ou seja, se as etapas de ensino se encontram alinhadas ou não a arquitetura cognitiva e respeita a limitação do processamento de informação na memória de trabalho (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011). A carga intrínseca associada ao conteúdo não pode ser alterada, ela está associada aos próprios conceitos e ao nível de dificuldade que este possui para sua compreensão. O nível de complexidade do conteúdo não pode ser simplificado, pois está ligado aos conceitos, suas definições e níveis de dificuldade que o estudante terá para compreendê-lo.

Entretanto, a carga estranha, ou extrínseca, está ligada a forma como os conceitos são abordados, e está associada a metodologia da abordagem, a forma como estes são apresentados aos estudantes. Ou seja, as decisões pedagógicas que o professor toma ao definir como será sua explanação sobre o conteúdo estudado. Essa carga pode ser controlada e dosada durante o uso de ferramentas, como simulações, em cada etapa de ensino, principalmente quando analisada sob a perspectiva dos objetos de visualização. Em cada momento de ensino pode-se observar quantos objetos são explorados para controlar a quantidade de informação que será processada pela memória de trabalho verbal e não-verbal, controlando assim a carga extrínseca.

Por esta razão, os objetos devem ser claros ao estudante para que eles possam influenciar positivamente o ensino, sendo selecionados a cada momento evitando sobrecarga de informação, equilibrando sempre a carga intrínseca e estranha.

Para a visualização, quantos mais objetos o estudante compreende, inter-relaciona e transita, maior será sua capacidade de significação e conceitualização, pois melhores serão os esquemas armazenados na memória de longo prazo. Os esquemas são formados na memória de longo prazo após as informações dos objetos serem processadas e organizadas na memória de trabalho. Quando novos objetos são oferecidos e explorados, os estudantes podem interpretá-los e integrá-los com informações resgatadas da memória de longo prazo para novas conexões. Esquemas são formados por elementos, e a cada etapa de ensino novos elementos podem ser integrados a uma estrutura já existente,

ocorrendo então uma reorganização. Logo, quantos mais objetos o estudante é capaz de compreender ao longo do seu percurso de aprendizagem, mais complexos e completos serão seus esquemas, com maiores ramificações e conexões. Essa capacidade de compreensão e transição de objetos é definida como a habilidade de visualização (NKOSI; MNGUNI, 2020), que pode estar expressa nas externalizações dos estudantes (visualização interpretativa).

2.3 A VISUALIZAÇÃO INTERPRETATIVA E A COERÊNCIA REPRESENTACIONAL

Há evidências de que os estudantes possuem grande dificuldade de compreender e associar objetos de visualização diferentes apresentados simultaneamente (SCHEID *et al.*, 2019) sobre um mesmo conceito. Ou seja, os estudantes, em grande maioria, não conseguem compreender a transição de um objeto para outro, construído para uma mesma informação/conteúdo, e como esses objetos se relacionam ao conteúdo que está sendo abordado. Entende-se que os objetos farão sentido na área em que o conteúdo abordado se enquadra, logo, a compreensão do objeto de visualização não está dissociada da compreensão do conteúdo em si.

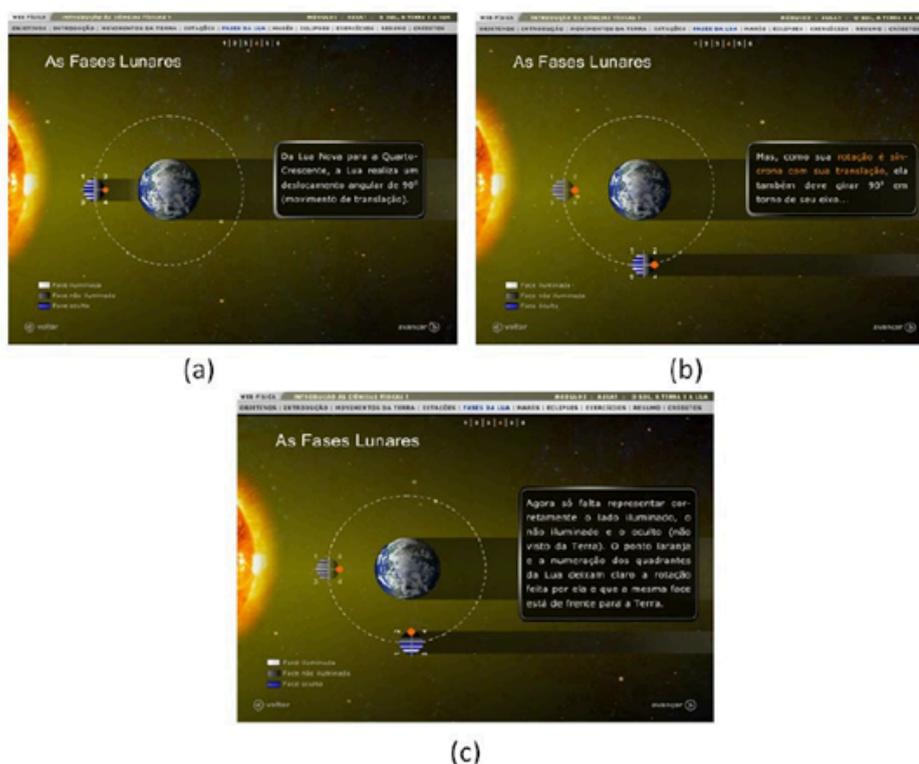
Se considerarmos um cenário no qual o estudante possui elevado grau de habilidade visual, é natural que o mesmo seja capaz de expressar respostas que lancem mão de diferentes objetos que se sobreponham e se inter-relacionam construindo uma solução de problema mais complexa em formatos verbais e não-verbais. Essa capacidade de utilizar diferentes objetos relacionado a um conteúdo como forma de solucionar problemas pode ser compreendida como competência representacional, e quando há consistência entre essas inter-relações de objetos é entendido que o estudante alcançou a coerência representacional (SCHEID *et al.*, 2015, 2018).

De modo geral podemos analisar a aprendizagem dos estudantes a partir da comparação dos objetos de visualização apresentados pelo professor e os expressados pelos estudantes ao solucionarem problemas em isolado, que são indícios de suas visualizações interpretativas (VAVRA *et al.*, 2010). Ou seja, a relação entre o domínio interno e externo (MNGUNI, 2014) pode ser estabelecida na proporção e utilização de objetos de visualização apresentados aos estudantes que

foram internalizados e conceitualizados, e se façam presentes em suas externalizações.

Um exemplo pode ser encontrado na pesquisa de Fagundes, Silva e Barroso (2015) no qual o objeto de visualização é uma animação que fornece um modelo para o movimento de rotação síncrona da Lua, com o propósito de superar as barreiras de ensino relacionadas a este conteúdo. Um dos fatores que contribui negativamente para a compreensão deste conteúdo, é o movimento simultâneo de translação e rotação do satélite natural (Lua), o que faz com que a mesma face permaneça virada para a Terra. Dessa forma, a animação apresentou os movimentos dissociados, ou seja, em um momento a translação (imagens (a) e (b) na Figura 5) e depois a rotação (imagem (c) na Figura 5). Esse formato de apresentação do movimento auxilia visualmente o estudante a compreender as razões do fenômeno abordado.

Figura 5 – Animação do movimento de rotação síncrona da Lua.



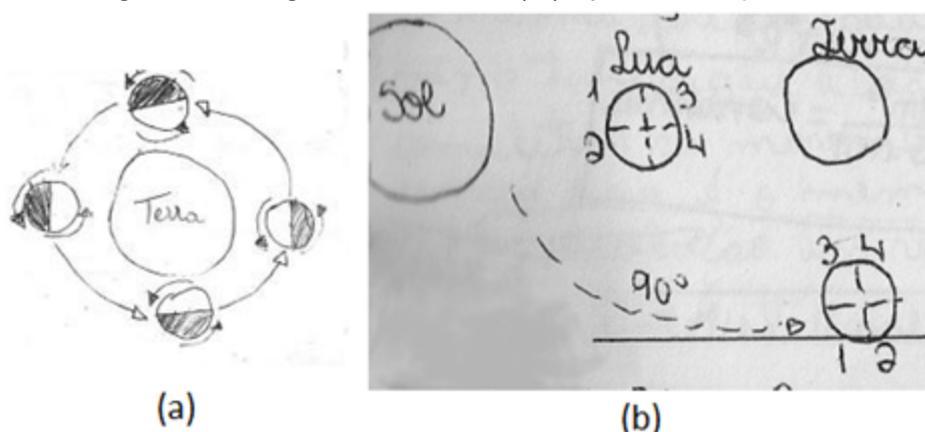
Fonte: Fagundes, Silva e Barbosa (2015).

Os participantes da pesquisa foram avaliados através de pré e pós teste, respectivamente aplicados antes e após o uso da animação. O foco da pesquisa estava voltado para compreender como a animação era capaz de auxiliar no ensino

da rotação síncrona da Lua. Para responder os testes (pré e pós) os estudantes precisavam apresentar suas respostas para as perguntas através de texto e desenho. A figura 6 apresenta dois diagramas construídos por dois estudantes participantes da pesquisa, sendo a representação (a) construída por um e a (b) por outro. A pesquisa estava pautada na hipótese de que quando o estudante, não possui uma construção visual sobre os conceitos em sua cognição, ele poderá tomar emprestado o que lhe é oferecido no material, neste caso a animação, como aconteceu com o estudante do diagrama (b).

Em casos que os estudantes compreendem e interpretam com mais profundidade ao visualizar as informações, eles são capazes de usar as informações dadas e construir a sua própria forma de identificação do conceito que está sendo estudado. Neste caso, na imagem abaixo (Figura 6) o estudante (a) que está à esquerda, o estudante encontrou sua própria representação. No caso da representação do participante da direita, o estudante construiu um diagrama semelhante ao do material, utilizando a mesma legenda da animação para evidenciar a rotação síncrona da Lua.

Figura 6 - Diagrama do aluno (O) após animação.



Fonte: Fagundes, Silva e Barbosa (2015).

Nesse cenário, o objeto de visualização da animação da rotação síncrona da Lua utilizado no estudo auxiliou os estudantes na visualização interpretativa, o que ficou evidente nas construções visuais externalizadas pelos participantes da pesquisa. Esse estudo é um indicativo da influência dos objetos de visualização sobre a aprendizagem ocorrida por meio de informações visuais bem construídas e pensadas, que oferecem um recurso de apoio ao estudante. Esse resultado está em

consonância com o estudo realizado por Nnkosi e Mnguni (2020) ao abordar o conteúdo de estrutura molecular através de modelos concretos com bastões e esferas juntamente com desenhos de representação para a estrutura de Lewis para a molécula de amônia. O estudo foi desenvolvido com dois grupos, no qual um deles utilizou apenas texto, imagem e esquemas, e o outro grupo foi além, através da versão física do modelo de Lewis com hastes e esferas coloridas. Os estudantes que tiveram a experiência de construir os modelos físicos da molécula tiveram melhores resultados nos pós testes em comparação com o outro grupo.

Em casos que os estudantes sejam capazes de expressar respostas corretas conceitualmente por diferentes objetos sobrepostos para diferentes problemas referentes a uma mesma área de domínio, podemos considerar que esses estudantes desenvolveram sua habilidade representacional evidenciando então coerência representacional. A coerência representacional de um estudante pode ser analisada observando-se as construções pictóricas apresentadas pelo estudante através de ao menos dois objetos de visualização relacionados a uma área de domínio (conteúdo) estão corretas, como por exemplo, se a informação escrita (*informação textual*) e por meio de desenho (*diagrama esquemático*) estão coerentes conceitualmente.

É fundamental salientar que o desenvolvimento da habilidade representacional só ocorre quando objetos de visualização são explorados durante o ensino, respeitando a estrutura da arquitetura cognitiva, sendo então viável a comparação entre os objetos apresentados aos estudantes e os externalizados pelo mesmo em casos de estudos estruturados com este propósito, como na presente pesquisa. Portanto, os objetos de visualização se mostram o aspecto principal pelo qual os estudantes viverão suas experiências de ensino e expressarão posteriormente suas visualizações interpretativas por meio desses. Alguns pontos podem nortear essas escolhas instrucionais:

- a) Avaliação dos objetos de visualização presentes na atividade.
- b) Seleção dos objetos de visualização que serão explorados, definindo os objetivos de ensino e momentos em que devem ser utilizados.
- c) Os objetos de visualização devem estar de acordo com os conceitos científicos.
- d) O objetivo didático traçado para a utilização de cada objeto de visualização tem de estar claro para o professor e para o estudante.
- e) Os objetos de visualização devem ser abordados e explicados para os estudantes, assim como a relação entre os mesmos.

Considerando a relevância das escolhas instrucionais para abordagem de um conteúdo e a exploração de objetos de visualização desse domínio, conhecer as externalizações e conhecimentos publicados em estudos sobre o conteúdo que se pretende abordar é um ponto de partida. Assim, o capítulo (capítulo 3) a seguir discute concepções conceituais verbais (escritos) e visuais relacionados ao conteúdo de modelos atômicos, desenhando esse cenário de pesquisa e ainda, sendo um ponto de partida para conhecer as externalizações que os estudantes constroem sobre modelos atômicos.

Para complementar esse contexto, uma revisão para buscar as pesquisas que utilizaram a simulação Modelos para o Átomo de Hidrogênio foi realizada, com o objetivo de evidenciar a inexistência de estudos iguais à proposta da presente pesquisa. Além de conhecer o cenário destas pesquisas, e os resultados de aprendizagem apresentados nesses estudos.

3. O ENSINO DE MODELOS ATÔMICOS

O ensino de ciências, em especial o ensino de modelos atômicos, envolve os estudantes na compreensão de conceitos e construções pictóricas que exigem alto grau de abstração e imaginação. Assim, é possível que ocorram equívocos quanto à construção de esquemas relacionados a esse conteúdo. Considerando que o mesmo será parte da presente pesquisa, é fundamental buscar na literatura as dificuldades já relatadas sobre o ensino desse tema, possibilitando assim conhecer a carga intrínseca associada ao conteúdo. Este é um bom ponto de partida para administrar as cargas durante o processo de aprendizagem através da abordagem metodológica coerente, para que não sobrecarregue assim a memória de trabalho. Ainda considerando que o objetivo principal deste estudo está em apresentar os resultados relacionados à exploração visual e verbal da simulação do grupo PhET, e a sua potencial contribuição para a visualização interpretativa dos estudantes, é essencial as explorações e estudos realizados com base em sua utilização. Portanto, foram realizadas duas revisões relacionadas a estes dois pontos, com a finalidade de construir o cenário de abordagem da presente pesquisa, e que serão apresentados e discutidos nas próximas sessões.

Para iniciar a discussão sobre as revisões, é importante que primeira esteja claro as concepções de modelos que serão abordadas através da simulação, assim será apresentado brevemente as definições destes modelos. É importante destacar que o objetivo aqui não é trazer todos os detalhes históricos da evolução e dos estudos acerca deste tópico. Há publicações² que se debruçam sobre esse contexto e discutem de forma extensa os momentos históricos e epistemológicos do tema, e toda a sua evolução.

3.1 OS MODELOS ATÔMICOS E SEUS PRECEITOS

Na Grécia Antiga, questionamentos sobre a estrutura da matéria já estavam presentes em discussões e estudos entre os pensadores da época. A etimologia da palavra átomo nasce do grego átomos, que por definição significa indivisível. De acordo com estudiosos da época, Leucipo e Demócrito toda matéria era formada a

² FERREIRA, L. M. **Atomismo: um resgate histórico para o ensino de química**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

partir de átomos eternos e indivisíveis. Nesse período histórico da Grécia antiga, a concepção de átomo ainda estava pautada em pensamentos filosóficos, sem respaldo experimental ou observacional.

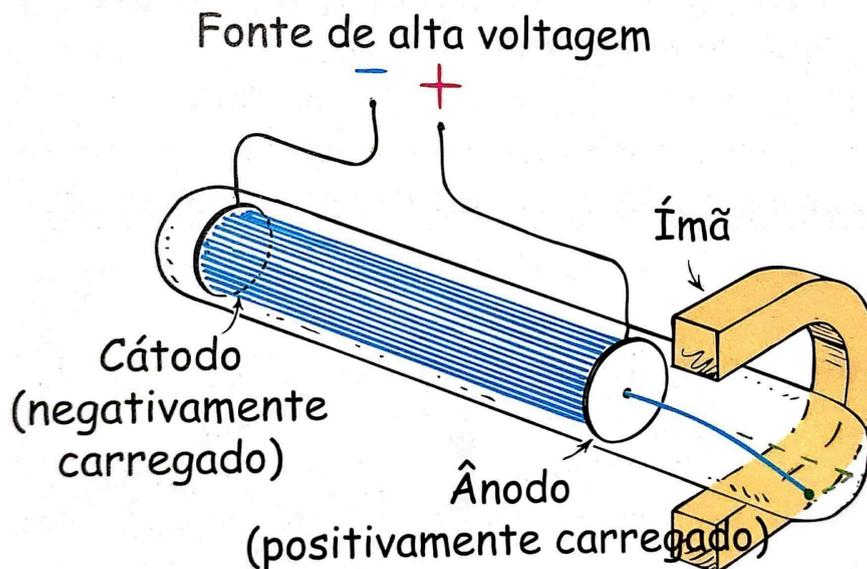
Essa concepção perdurou até meados do século XIX, com os experimentos químicos sobre reações químicas e proporção constante dos elementos nas substâncias compostas, estudadas por Antoine Lavoisier e Joseph Proust ao desenvolverem as Leis Ponderais. No início do século XIX, o químico John Dalton resgatou a ideia dos átomos como esferas maciças e indivisíveis, construindo simbologias para cada elemento químico.

No final do mesmo século, a concepção da existência de uma carga carregada negativamente foi trazida através da percepção do físico Joseph John Thomson, a partir da replicação do experimento com os tubos de raios catódicos de Crookes (Figura 7), no qual conseguiu perceber desvios dos raios por um campo magnético e também pelo campo elétrico, ao qual Thomson associou a presença de uma partícula negativa.

O estudo com raios catódicos iniciou com Julius Plücker e Johann Hittorf no ano de 1858. Os pesquisadores concluíram na época que a radiação ocorrida no eletrodo negativo era devido a passagem da corrente elétrica por um gás rarefeito (aprisionado no tubo de vidro). William Crookes replicou o experimento, encontrando os mesmos resultados. Investigações desse experimento foram realizadas por outros cientistas para compreender a causa dos raios. Em 1897, Thomson cruzou dados de pesquisas anteriores e o seus cálculos, publicou a explicação dos raios, o que ficou conhecido como a descoberta do elétron.

Assim a concepção do átomo passou de um esfera indivisível, para uma massa positiva com partículas negativas, como proposto por Thomson. As cargas negativas foram chamadas posteriormente de elétrons, aderidas em sua estrutura.

Figura 7 - Experimento tubos de raio catódico de Crookes.

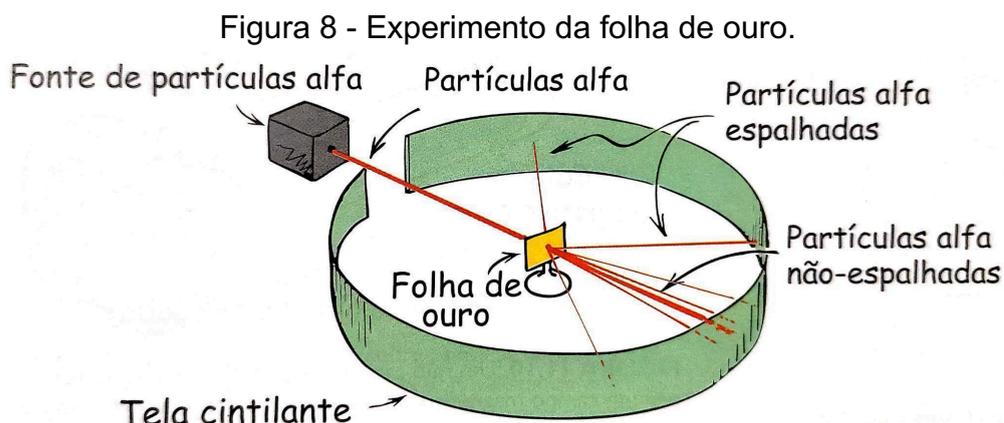


Fonte: Hewitt, 2002.

Discussões e estudos envolvendo partículas estavam no centro das pesquisas na época. Hans Geiger e Thomas Royds realizaram observações sobre radiação alfa, em Manchester, indicando essa radiação como átomos de hélio ionizados.

Em 1909, Ernest Rutherford supervisionou o experimento do bombardeio da folha de ouro, realizado por Hans Geiger e Ernest Marsden através do qual fez o seu trabalho mais importante. Através do experimento, Rutherford destacou três observações que modificaram a percepção sobre a estrutura do átomo: **1.** Partículas alfa passando sem desvio, indicando que a maior parte do átomo seria um espaço desocupado; **2.** Partículas alfa desviadas em ângulos pequenos, considerando a carga positiva das partículas alfa, os desvios indicavam a existência de uma região de positiva capaz de repeli-las; e **3.** Partículas alfa em pequena quantidade rebatidas descrevendo trajetórias quase opostas: o que corrobora a existência de uma região positiva capaz de repelir as partículas alfa com grande intensidade, o que era um indicador de uma região pequena com grande densidade de carga positiva para agir de tal forma. A estrutura do experimento foi montada de acordo com a figura abaixo (Figura 8).

Assim, a proposta do modelo atômico de Rutherford ficou conhecido como o modelo planetário, no qual um núcleo com cargas positivas estaria localizada no centro, e as cargas negativas orbitando esse núcleo.



Entretanto, o modelo de Rutherford apresentava um problema teórico com relação ao movimento do elétron orbitando o núcleo, em uma perspectiva clássica, o elétron iria perder energia e colapsar com o núcleo. Em 1913 Niel Bohr, apresentou conceitos discutidos na mecânica quântica com o objetivo de resolver a inconsistência do modelo proposto por Rutherford. Bohr sugeriu então, a existência de orbitais quantizados com valores específicos de energia possível para os elétrons. Nesse mesmo período, Bohr apresentou uma explicação para as linhas espectrais de absorção e emissão para o átomo de hidrogênio. A espectroscopia já vinha sendo estudada desde Newton com a dispersão da luz em prismas, e passou por diversos momentos de investigação, porém com a proposta do modelo atômico de Bohr as observações do espectro do Hidrogênio foi melhor compreendido a partir de uma estrutura atômica.

A busca pela compreensão da interação entre a matéria e a radiação eletromagnética moveu pesquisadores desde 1665 até os dias atuais. Estudos realizados com esse objetivo foram classificados dentro da área de investigação da espectroscopia. Os estudos realizados nessa área perpassam vários séculos.

No século XVII, Isaac Newton estudou a decomposição da luz ao passar por um prisma, o que contribuiu para a compreensão do espectro de luz visível. Fraunhofer observou as linhas escuras do espectro solar (século XVIII). Os princípios da espectroscopia atômica são definidos no século XIX por Kirchhoff e Bunsen, ao inventarem o espectroscópio.

Ao longo dos anos novas técnicas e equipamentos foram desenvolvidos, como os detectores de placas fotográficas e sensores digitais, assim como as

técnicas de absorção atômica. Atualmente, a espectroscopia auxilia em análises químicas, descobertas de estrelas e atmosferas solar, na medicina através de diagnósticos, e ciências de materiais. As pesquisas realizadas na área contribuíram para os estudos sobre a estrutura do modelo atômico e os elementos químicos, destacando o comportamento do elétron em interação com a onda.

Através de estudos na época, De Broglie postulou que o comportamento do elétron é dual quanto a sua origem, ou seja, a dualidade da onda partícula, às vezes se mostra como partícula e também como onda eletromagnética. A partir desse ponto, De Broglie propôs que em cada elétron que ocupava sua respectiva órbita descreva o seu movimento com onda de matéria, e que este está em sua onda sem que possamos descrever pontualmente sua posição. Esse conceito vem com base também nos estudos realizados por Heisenberg ao definir o conceito do princípio da incerteza.

Essa concepção embasa também os estudos de Erwin Schrödinger, no qual não podemos definir a posição da partícula quando essa comporta-se como onda.

O modelo de Schrödinger irá descrever regiões nas quais há a maior probabilidade de encontrar o elétron, denominada de nuvem de probabilidade. As regiões são denominadas de orbitais, sendo matematicamente definidos e visualmente construídos de forma tridimensional. Nesse caso os saltos quânticos irão ocorrer modificando o formato da nuvem eletrônica, redefinindo a região de maior probabilidade de ser encontrado elétron.

O avanço das teorias quânticas para o átomo definiram a caracterização de um modelo atômico complexo capaz de oferecer explicações e previsões para diferentes observações da interação da radiação com o átomo, como por exemplo os avanços na área da espectroscopia, com técnicas e métodos de estudo recentes, envolvendo ressonância magnética nuclear.

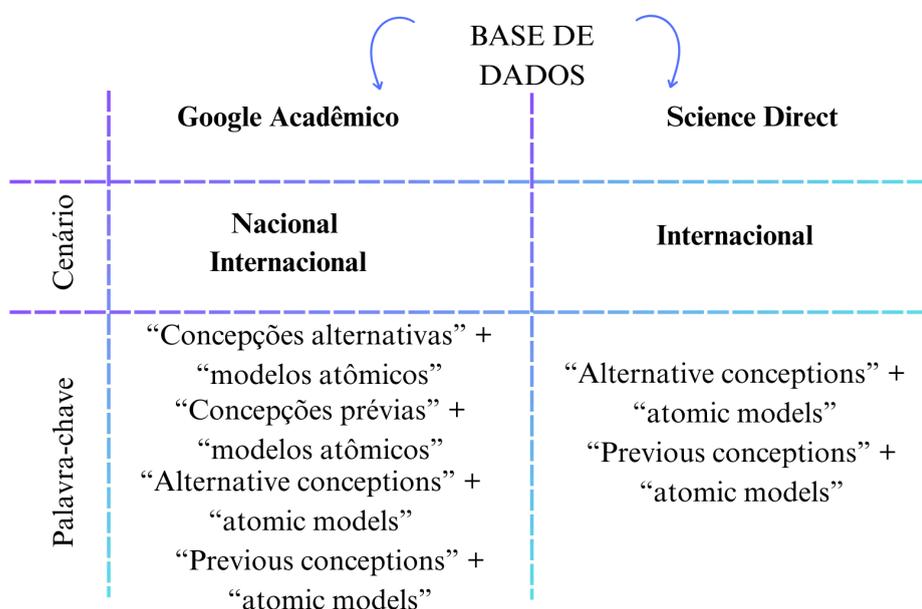
É importante ressaltar que as estruturas atômicas propostas ao longo dos anos foram construídas a partir de hipóteses.

Como não podemos ver o interior de um átomo, construímos modelos para eles. Um modelo é uma abstração que nos ajuda a visualizar o que não podemos ver, e o que é importante, nos capacita a fazer previsões sobre porções não vistas da natureza (HEWITT, 2002, p. 199).

3.2 CONSTRUÇÕES VISUAIS DE ESTUDANTES SOBRE OS MODELOS ATÔMICOS EM PUBLICAÇÕES DA ÁREA ENSINO DE CIÊNCIAS

Para a realização das buscas das publicações relacionadas ao nível de conhecimento dos estudantes sobre modelos atômicos dentro da área de ensino de ciências, no contexto nacional e internacional, foram definidas dois conjuntos de palavras-chave (em português e inglês), utilizadas em duas bases de dados pré-selecionadas (Figura 9) no mês de junho de 2020.

Figura 9 – Esquema do sistema de busca pelas publicações na área de ensino de ciências.



Fonte: Elaborada pela autora.

Foram encontradas 30 publicações, entre as quais estão resumos expandidos em eventos, artigos publicados em revistas, trabalhos de conclusão de curso, teses e dissertações, atingindo um público que se inicia desde o ensino fundamental até estudantes de graduação (Quadro 1).

Quadro 1 – Publicações encontradas na revisão bibliográfica relacionada ao ensino de modelos atômicos.

(continua)

ANO	AUTOR	PUBLICAÇÃO
1995	Eduardo Fleury Mortimer	Concepções atomistas dos estudantes

Quadro 1 – Publicações encontradas na revisão bibliográfica relacionada ao ensino de modelos atômicos.

(continua)

ANO	AUTOR	PUBLICAÇÃO
1996	Allan Gordon Harrison	Conceptual change in secondary chemistry: the role of multiple analogical models of atoms and molecules
	Allan Gordon Harrison e David F Treagust	Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry
2001	Keith S. Taber	Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research
2003	Keith S. Taber	The atom in the chemistry curriculum: fundamental concept, teaching model or epistemological obstacle?
2006	Christiano Carvalho Leal	Modelo atômico e interação da radiação com a matéria: concepções de um grupo de alunos do ensino médio
2009	Elizabeth Anne Edwards Roland	An exploratory study of high school students. conceptions of atomic and cellular structure and relationships between atoms and cells
	Eun Jung Park e Gregory Light	Identifying atomic structure as a threshold concept: student mental models and troublesomeness
	Muammer Çalik, Suat Ünal, Bayram Costa, Nurhan Dede, Alipasa Ayas	Investigating effectiveness of analogies embedded within four-step constructivist teaching model: a case of the 'atom' concept
	Karina Adbo e Keith S. Taber	Learners' Mental Models of the Particle Nature of Matter: A study of 16-year-old Swedish science students
2010	Keith S. Taber e Kim Chwee Daniel Tan	The Insidious Nature of 'Hard-Core' Alternative Conceptions: Implications for the constructivist research programme of patterns in high school students' and pre-service teachers' thinking about ionization energy
2011	Láís Daniele Rodrigues Barboza	Concepções alternativas dos alunos do ensino médio público de diamantina relacionada a átomo, natureza do ar e estados físicos.

Quadro 1 – Publicações encontradas na revisão bibliográfica relacionada ao ensino de modelos atômicos.

(continua)

ANO	AUTOR	PUBLICAÇÃO
------------	--------------	-------------------

2011	Ivana Greice Sandri, José Arthur Martins, Luciani Tatsch Piemolini-Barreto e Valquíria Villas-Boas	Concepções prévias do modelo de átomo dos alunos de engenharia de alimentos e engenharia química
	Márcia Conceição Rocha Lima	Concepções de ligações químicas dos estudantes que ingressam no ensino médio
	Kathamania Vanessa Rezende Santana, Victor Hugo Vitorino Sarmiento e Edson José Wartha	Modelos atômicos e estrutura celular: uma análise das ideias dos estudantes de química do ensino médio
2012	Marlene Rios Melo e Edmilson Gomes de Lima Neto	Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos modelos atômicos em química
	Tamires da S. Melo, Sarah Emanuelle P. da Silva, Hiago A. do N. Santos e Roberto A. Sá	Análises das concepções de alunos do sobre os modelos atômicos a partir da aplicação de uma sequência didática
	Zeynep Polat-Yaseen	A comparison between elementary school students' mental models and visualizations in textbooks for the concept of atom
2013	Chia-Yu Wang e Lloyd H. Barrow	Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity: a comparison of undergraduate general chemistry students with high and low levels of content knowledge
	Grazielle Rocha Ferreira	Percepções sobre modelos e modelagens no ensino de modelos atômicos presentes em livros didáticos de química
2014	Elisabeth Netzell	Using models and representations in learning and teaching about the atom: a systematic literature review

Quadro 1 – Publicações encontradas na revisão bibliográfica relacionada ao ensino de modelos atômicos.

(conclusão)

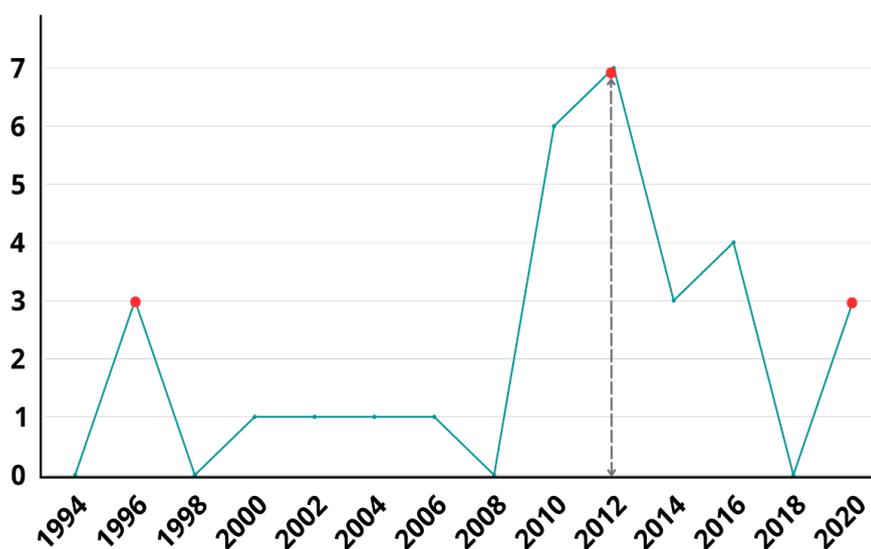
ANO	AUTOR	PUBLICAÇÃO
2015	Serkan Ekinci	Investigating 12th grade students' cognitive structures about the atom concept using different assessment tools

	Thais Campos Gomes Alves, Clísia Silva Santos, Eliana Midori Sussuchi e João Paulo Mendonça Lima	Concepções dos graduandos do curso de química Licenciatura da Universidade Federal de Sergipe/Campus de São Cristóvão sobre o átomo e os modelos atômicos
2016	Túlio Flávio de Vasconcellos, Acássio Paiva Rodrigues e Geovany Amorim Gomes	Concepções alternativas dos modelos de átomos dos alunos do ensino médio de uma escola pública em Sobral-CE
2019	Aysegül Derman, Nuriye Koçak e Ingo Eilks	Insights into components of prospective science teachers' mental models and their preferred visual representations of atoms
	Felipe Alves Silveira, Ana Karine Portela Vasconcelos, Suyanne do Nascimento Almeida e Manuel Bandeira dos Santos Neto	Investigação dos obstáculos epistemológicos no ensino de química: uma abordagem no tópico modelos atômicos
	Thamyres Ribeiro da Silva, Franklin Kaic Dutra-Pereira e Maria Betania Hermenegildo dos Santos	Desenhos científicos no ensino de química: as concepções prévias dos alunos do ensino médio sobre os átomos
	Zahilyn D. Roche Allred e Stacey Lowery Bretz	University chemistry students' interpretations of multiple representations of the helium atom

Fonte: Elaborado pela autora.

As pesquisas relacionadas a esse foram quantitativamente maiores entre os anos de 2008 e 2012 (Figura 10) de acordo com a revisão feita.

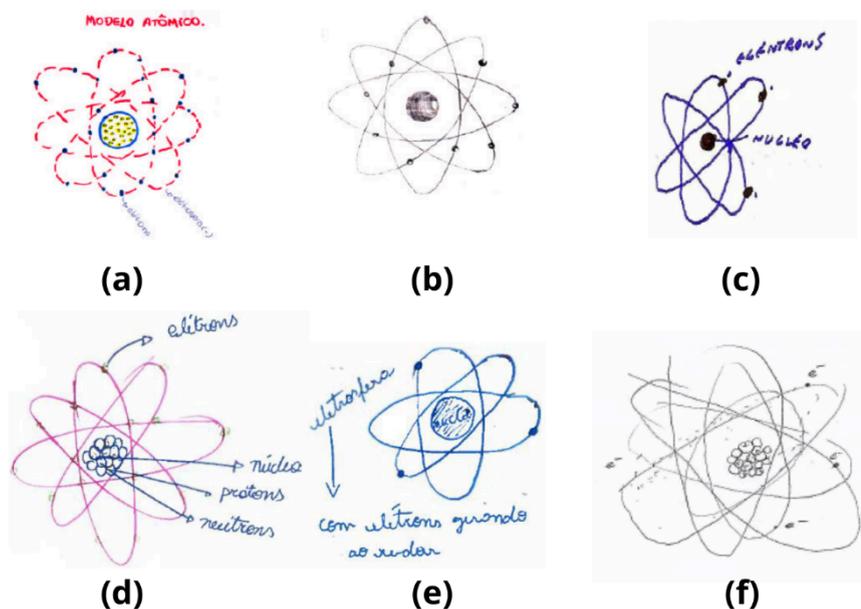
Figura 10 - Publicações encontradas na revisão classificadas por biênio.



Fonte: Elaborada pela autora.

No primeiro momento de leitura das pesquisas, o olhar foi direcionado inicialmente para as que traziam nos resultados análises de desenhos/diagramas feitos pelos estudantes sobre o que eles entendiam por modelo atômico. Entre os 30 estudos, 18 apresentam diagramas e construções pictóricas dos estudantes (ADBO; TABER, 2009; ALVES *et al.*, 2015; BARBOZA, 2011; DERMAN; KOÇAK; EILKS, 2019; EKINCI, 2015; FUKUI; PACCA, 1999; HARRISON, 1996; LEAL, 2006; PARK; LIGHT, 2009; REIS, 2015; POLAT-YASEEN, 2012; ROLAND, 2009; SANDRI *et al.*, 2011; SANTANA; SARMENTO; WARTHA, 2011; SILVA, 2019; SILVEIRA *et al.*, 2019; VASCONCELLOS; RODRIGUES; GOMES, 2016; WANG; BARROW, 2013), sendo que a grande maioria dos diagramas se aproximam dos modelos de Rutherford (Figura 11) ou de Bohr (Figura 12), e ainda em alguns casos um modelo híbrido com conceitos parciais de ambos.

Figura 11 – Diagramas apresentados por estudantes baseados no modelo de Rutherford extraído dos estudos publicados.



Diagramas **(a)** e **(b)** extraídos de Fukui e Pacca (1999); **(c)** de Leal (2006); **(d)** e **(e)** de Reis (2015); e **(f)** de Ekinci (2015).

Fonte: Adaptado de Fukui e Pacca (1999), Leal (2006), Reis (2015) e Ekinci (2015).

Figura 12 – Diagramas apresentados por estudantes baseados no modelo de Bohr extraído dos estudos publicados.

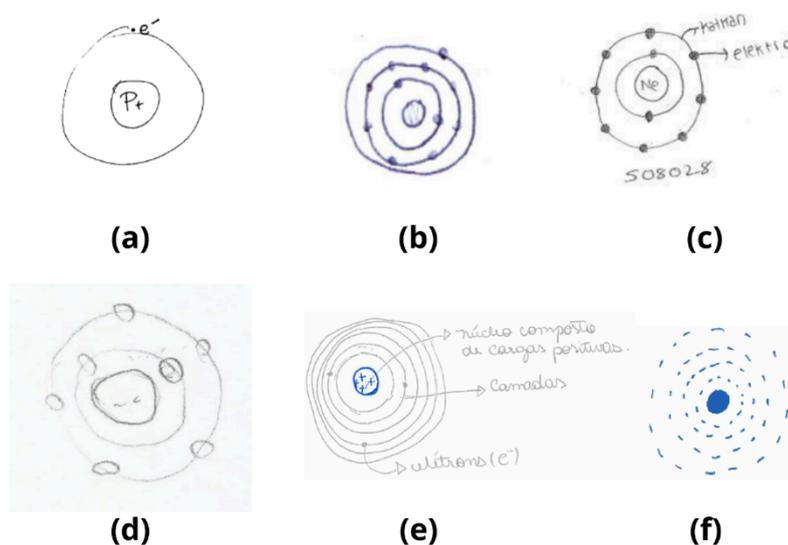
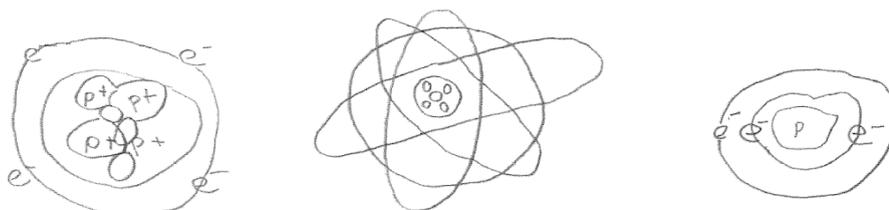


Diagrama **(a)** extraído de Harrison (1996); **(b)** de Sandri et al. (2011); **(c)** de Polat-Yaseen (2012); **(d)** de Ekinci (2015), **(e)** e **(f)** de Reis (2015).

Fonte: Adaptado de Harrison (1996), Sandri *et al.* (2011), Polat-Yaseen (2012), Ekinci (2015) e Reis (2015).

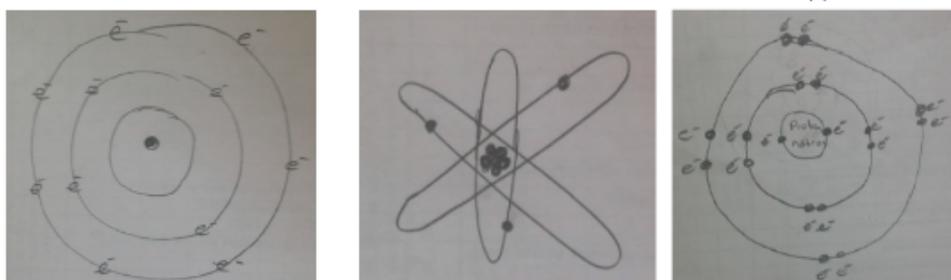
No geral os desenhos de modelos apresentados pelos estudantes de graduação (SANDRI *et al.*, 2011; WANG; BARROW, 2013; ALVES; SANTOS; LIMA., 2015; 2015; REIS, 2015; DERMAN; KOÇAK; EILKS, 2019; SILVEIRA *et al.*, 2019) são próximos ou iguais, ou seja, apresentam as mesmas características, que os externalizados pelos estudantes de ensino básico (HARRISON, 1996; FUKUI; PACCA, 1999; LEAL, 2006; ADBO; TABER, 2009; PARK; LIGHT, 2009; ROLAND, 2009; BARBOZA, 2011; SANTANA; SARMENTO; WARTHA, 2011; POLAT-YASEEN, 2012; EKINCI, 2015; VASCONCELLOS; RODRIGUES; GOMES, 2016; SILVA; DUTRA-PEREIRA; SANTOS, 2019). Essa comparação fica ainda mais evidente ao observarmos os diagramas apresentados por estudantes de ensino médio (Figura 13) e por professores em formação na área de ciências (Figura 14).

Figura 13 - Diagramas construídos por estudantes do ensino médio.



Fonte: Adbo e Taber (2009).

Figura 14 - Diagramas construídos por professores de ciências em formação.



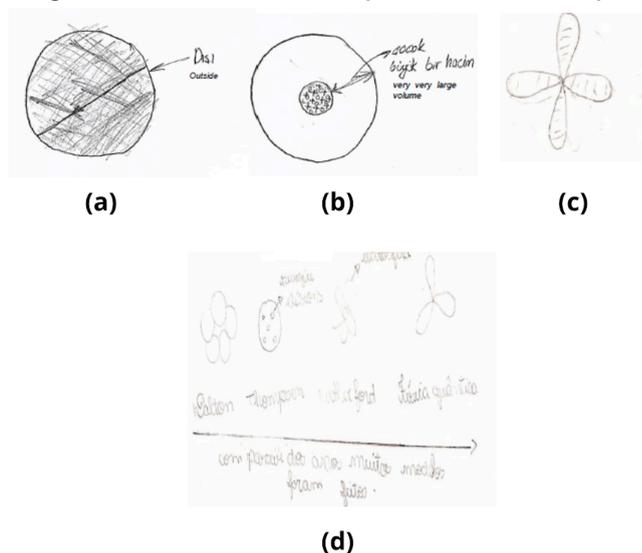
Fonte: Derman, Koçak e Eilks (2019).

Um dos fatores apontados para essas ocorrências de respostas pode estar associado às representações atômicas as quais os estudantes são mais expostos. Leal (2006) encontrou entre os desenhos apresentados pelos participantes de sua pesquisa, uma maior frequência e semelhança ao modelo de Rutherford, e salientou que este cenário pode ter sido encontrado pois “esse tipo de representação é a que comumente é associada aos átomos em programas de TV” (p. 61). Fukui e Pacca (1999), em seu estudo, apresentam a mesma justificativa para os resultados que

obtiveram e afirmam que “a maior parte dos desenhos refletiu um modelo de átomo bastante comum em ilustrações de livros didáticos e imagens veiculadas pela mídia” (p. 5). Reis (2015) também destaca a influência das mídias sobre seus resultados, considerando que a segunda representação mais comum entre os participantes apresenta semelhanças com o modelo de Rutherford.

A apresentação de modelos quânticos são exceção entre os desenhos, assim como casos de estudantes que apresentassem múltiplos diagramas, ou seja, construções pictóricas de cada modelo existente (LEAL, 2006; PARK; LIGHT, 2009; REIS, 2015; DERMAN; KOÇAK; EILKS, 2019).

Figura 15 - Diagramas dos modelos quânticos e múltiplos modelos.



Diagramas (a) e (b) extraídos de Ekinci (2015); (c) e (d) de Leal (2006).

Fonte: Adaptado de Ekinci (2015) e Leal (2006).

Esse aspecto está relacionado também a proposta de estudo, se há ou não solicitação para que os estudantes desenhem mais de um diagrama, ou se são perguntados diretamente sobre modelos quânticos ou para que desenhem todos os modelos estudados. De modo mais geral os estudantes parecem ainda não compreender como determinados conceitos se aplicam nos modelos quânticos (PARK; LIGHT, 2009), usando alguns termos como sinônimos de forma equivocada (ALLRED; BRETZ, 2019) e ainda adequando orbitais ao modelo de Bohr (ADBO; TABER, 2009).

As imagens pictóricas construídas pelos estudantes nas pesquisas estão associadas aos conhecimentos que os mesmos possuem sobre o conteúdo, e

podem estar relacionadas a dificuldades intrínsecas do conteúdo de modelos atômicos, ou extrínsecas que se apresentam por conta da forma de abordagem. Esses pontos são discutidos a seguir com base nos artigos encontrados na revisão feita. O intuito não foi categorizar as publicações, mas sim explicar pontos de dificuldades que foram comuns nas pesquisas e que são importantes de serem discutidos e considerados.

3.3. DIFICULDADES INTRÍNSECAS AO ENSINO DE MODELOS ATÔMICOS E DE EXPLORAÇÕES METODOLÓGICAS

Entre as discussões apresentadas nas publicações foi possível encontrar sete aspectos que se mostram comuns as dificuldades no ensino do conteúdo de modelos atômicos, alguns relacionados a fatores externos de cunho metodológico, ou seja, das escolhas instrucionais, e outros ao nível de abstração que o conteúdo de modelos atômicos exige, sendo dificuldades intrínsecas ao conteúdo.

Entre as dificuldades de natureza instrucional, pode-se destacar, através da leitura dos estudos, quatro principais dificuldades, sendo: (i) *livro didático*, (ii) *descontextualização conceitual*, (iii) *átomo como modelo* e (iv) *analogia* na abordagem do conteúdo. O (i) *livro didático* está entre os materiais de apoio mais utilizado pelos professores, representando grande impacto no ensino do conteúdo de modelos atômicos (ADBO; TABER, 2009; MELO; NETO, 2012; POLAT-YASEEN, 2012; ALVES *et al.*, 2015). Um dos primeiros aspectos no livro didático é a abordagem desconexa que desencadeia na compreensão equivocada de que um modelo surge para substituir um anterior errôneo (MELO; NETO, 2012; ALVES *et al.*, 2015) o que faz com que os estudantes não compreendam a coexistência dos modelos atômicos construídos ao longo da história.

Outro fator que impacta diretamente na compreensão dos estudantes é a (ii) *descontextualização conceitual* na abordagem do conteúdo de modelos atômicos (HARRISON; TREAGUST, 1996; PARK; LIGHT, 2009; ALVES *et al.*, 2015; VASCONCELLOS; RODRIGUES; GOMES, 2016). Essa estrutura é presente nos livros didáticos, e se destaca ainda mais através da abordagem dos professores que comumente apresentam os modelos atômicos dissociados de elementos químicos, ou seja, de forma genérica. A abordagem dos modelos atômicos de forma isolada sem contextualização com os conceitos que está associado, como as estruturas dos

elementos químicos presentes na tabela periódica e sua estrutura para a formação de moléculas, por exemplo, dificulta para que os estudantes compreendam e o transponham para outras situações.

Essa fragmentação no ensino dos modelos atômicos, presente tanto nos livros como nos currículos escolares, no qual o modelo atômico é estudado de forma isolada, desconexa da sua finalidade explicativa, contribui para uma ideia de átomo como entidade viva existente e que pode ser vista e que foi aos poucos sendo estudada e desvendada. Apesar do uso do termo modelos em títulos e explicações, não é discutido com o estudante os aspectos que suscitam a sua construção histórica, e que os mesmos são representações desenvolvidas para buscar explicações a situações de pesquisa, como por exemplo, a determinados experimentos.

O (iii) *átomo como modelo* é um aspecto importante a ser trabalhado durante o ensino do conteúdo de modelos atômicos, pois no geral os estudantes não o reconhecem como proposições teóricas para abstração de algo que não somos capazes de enxergar, e essa informação deve estar clara durante a abordagem (SANDRI *et al.*, 2011; MELO; NETO, 2012; POLAT-YASEEN, 2012; FERREIRA, 2013; NETZELL, 2014). Este é um ponto fundamental que deve ser discutido, pois as construções científicas são distintas das percebidas pelos estudantes em seu cotidiano (MELO; NETO, 2012). Essa abordagem pode ser melhorada a partir do uso de recursos visuais durante a instrução (POLAT-YASEEN, 2012), ou ainda, através da discussão sobre a coexistência dos diferentes modelos em um mesmo período histórico, as relações e trabalhos conjuntos dos diferentes cientistas durante o desenvolvimento dessa área de estudo salientando a parceria e os momentos de discussão conjunta. Isso é possível através da utilização de ferramentas visuais, como a simulação, que apresentem a estrutura do modelo, período histórico em que o modelo foi desenvolvido, para quebra da ideia de linearidade da evolução dos modelos, e abordagens com predições que o modelo é capaz de oferecer.

Destacar que os diferentes modelos são coexistentes e válidos durante a abordagem do conteúdo pode auxiliar nesse processo (SANDRI *et al.*, 2011) mostrando situações em que determinados modelos são suficientes para a explicação do problema dado, e outras não. Essas comparações mostram que em certos cenários de validade modelos antigos, que parecem ter sido deixados para trás, oferecem ainda recursos para a resolução das questões problema. Esse

processo permite aos estudantes entender que a evolução da teoria científica não surge da contradição com o antigo como inválido, apenas com limitações de predição, e que a partir de novas teorias ampliamos esse cenário explicativo. Novos cenários de validade são descritos, sem tornar o modelo anterior incoerente, apenas incompleto para novas predições.

A (iv) *analogia* é uma estratégia instrucional bastante utilizada na abordagem de conteúdos abstratos, e têm como objetivo auxiliar os estudantes a compreender um dado conceito a partir de paralelos com outros, e ainda através de explorações imagéticas e pictóricas. Embora seja uma estratégia didática bastante utilizada, alguns autores fazem ressalva a essa prática e sinalizam que alguns cuidados devem ser tomados, pois o uso da mesma pode levar os estudantes a construir abstrações equivocadas. (HARRISON; TREAGUST, 1996; ÇALIK *et al.*, 2009; MELO; NETO, 2012; FERREIRA, 2013).

Em alguns casos os estudantes extrapolam a analogia, como por exemplo, entendendo o orbital como uma região bem definida (MELO; NETO, 2012), ou ainda que a nuvem de elétrons é formada por um conjunto de elétrons tão qual a nuvem é formada por gotas (HARRISON; TREAGUST, 1996). Os estudantes acabam transferindo a analogia de maneira literal para a construção da compreensão do modelo atômico estudado, resultando em um conhecimento cientificamente incorreto (HARRISON; TREAGUST, 1996; NETZELL, 2014).

Durante as abordagens de ensino cabe ao professor ressaltar qual o papel das analogias para a explicação, e salientar as limitações que elas possuem, mostrando até que ponto são válidas ou não. Outro ponto que o professor deve estar atento é a necessidade do uso, e se os estudantes possuem as ferramentas necessárias para compreender a aproximação e comparação feita através da analogia utilizada. Em casos no qual haja maior possibilidade de gerar confusão ao invés de esclarecimento aos estudantes, é provável que não seja a melhor decisão metodológica para o momento. Além disso, ao fazer uso desse objeto visual é preciso saber se os estudantes são capazes de compreender a relação estabelecida, se dominam a base para que a analogia ocorra de maneira coerente durante a abordagem.

Entre as dificuldades intrínsecas ao conteúdo de modelos atômicos estão (v) *concepção biológica*, (vi) *materialidade* e (vii) *transposição de contexto*.

A *(v) concepção biológica* ocorre quando os estudantes confundem o conceito de célula com o de modelo atômico (HARRISON, 1996; HARRISON; TREAGUST, 1996; ROLAND, 2009; BARBOZA, 2011; SANTANA; SARMENTO; WARTHA, 2011; MELO, 2012; WANG; BARROW, 2013; ALVES; SANTOS; LIMA, 2015; VASCONCELLOS; RODRIGUES; GOMES, 2016; DERMAN; KOÇAK; EILKZ, 2019; SILVA; DUTRA-PEREIRA; SANTOS, 2019; SILVEIRA *et al.*, 2019) o que pode estar atrelado ao fato de o primeiro contato dos estudantes com o conteúdo atômico ser nas séries finais do ensino fundamental, na disciplina de ciências, que normalmente é ministrada por professores com formação na área da Biologia, no qual os próprios professores oferecem uma analogia entre o átomo e a célula.

Essa aproximação entre os modelos (do átomo e da célula) suscita a transposição de ideias da estrutura e funcionamento da célula para o átomo, em alguns casos os estudantes constroem pictoricamente o átomo com características da célula, como a existência de parede celular e citoplasma (SANTANA; SARMENTO; WARTHA, 2011). Ou ainda, “[...] que os átomos podem se reproduzir e crescer e que os núcleos atômicos se dividem” (HARRISON; TREAGUST, 1996, p. 509). Em alguns casos, os estudantes acreditam “[...] que a menor parte dos seres vivos é a célula. Pouquíssimos alunos acreditam que a menor parte dos seres vivos é o átomo” (SANTANA; SARMENTO; WARTHA, 2011, p. 115).

Uma forma de contornar esse problema é estruturar a ordem de existência dos átomos e células, na formação dos seres vivos. Mostrando em escala as dimensões do átomo, molécula, e célula, destacando as diferenças de cada um. A organização de estrutura dos organismos, destacando que há os átomos que são os elementos químicos e que esses se unem formando as diferentes moléculas e assim por diante, até as estruturas maiores. Situar dentro de um ser vivo onde está e qual a escala do átomo, e em qual escala se localiza a célula, pode auxiliar na compreensão dos estudantes sobre as diferenças de cada estrutura.

A *(vi) materialidade* está associada ao fato de os estudantes acreditarem que os modelos construídos para representar o átomo são reais, sendo assim o átomo existente e que pode ser visto por meio de equipamentos específicos, tal qual podemos fazer com um microrganismo (MORTIMER, 1995; HARRISON; TREAGUST, 1996; MELO, 2012; SANTANA; SARMENTO; WARTHA, 2011; MELO; NETO, 2012; NETZELL, 2014). Um fator que pode estar associado a percepção de

materialidade pelos estudantes são as imagens de microscópios de tunelamento presentes em livros didáticos NETZELL, 2014).

Dessa forma os estudantes entendem que os diagramas utilizados para representar o átomo 'são ele em si', o que os faz acreditar que as características de objetos macroscópicos, como cor ou dureza, provém das características do átomo em si (HARRISON; TREAGUST, 1996; NETZELL, 2014).

Essa maneira de conceber o átomo como 'coisa viva' baseada no mundo concreto observável gera outros problemas como por exemplo a tendência em recusar a existência de espaços vazios no átomo, mesmo que apresentados em desenhos (MORTIMER, 1995), o que impacta diretamente na compreensão de conceitos que preveem a descontinuidade da matéria e o indeterminismo, por exemplo.

Um fator que pode estar associado a esse ponto de dificuldade relacionado à aprendizagem do conteúdo de modelos atômicos, está ligado ao fato de que os estudantes não compreendem o papel do modelo para a ciência, e em como este é utilizado para as predições. A escassez no entendimento sobre a definição do que é um modelo pelos estudantes contribui para esse cenário. Os modelos são construções com base em ideias e estudos, e são definidas com limitações e com o objetivo de oferecer explicações e previsões teóricas. Essa concepção pode ser abordada com os estudantes para a superação dos problemas encontrados na literatura.

A *(vii) transposição de contexto* está associada à capacidade que os estudantes possuem de transpor o conceito de modelo atômico para outros contextos, usando-os como base para solucionar tarefas e problemas (MORTIMER, 1995; LEAL, 2006; ADBO; TABER, 2009; SANDRI *et al.*, 2011; MELO; NETO, 2012; WANG; BARROW, 2013). Um dos pontos relacionados a essa dificuldade está no próprio conceito de matéria e suas transformações (MORTIMER, 1995; ADBO; TABER, 2009).

Há dificuldades em relacionar a estrutura atômica com as mudanças de fases da matéria. Os estudantes acreditam que a mudança de fase ocorre pois há ou um aumento no tamanho do átomo, ou mais átomos se unem aquela porção de matéria quando ela é aquecida, ou há um maior espaçamento entre os átomos para que haja mais ar entre os mesmos (ADBO; TABER, 2009). Essas afirmações reforçam a ideia de matéria contínua, no qual o átomo está imerso em uma

substância, divergindo do conceito de que os átomos são responsáveis por constituir e formar estas substâncias. Essa percepção está fortemente relacionada às experiências visuais dos estudantes, no qual materiais sólidos são contínuos.

Uma maneira de desconstruir essa percepção equivocada dos estudantes é mostrar a estrutura atômica da matéria em seus diferentes estados (gasoso, líquido, gasoso), relacionando as formas químicas de junção dos átomos ao formar as moléculas.

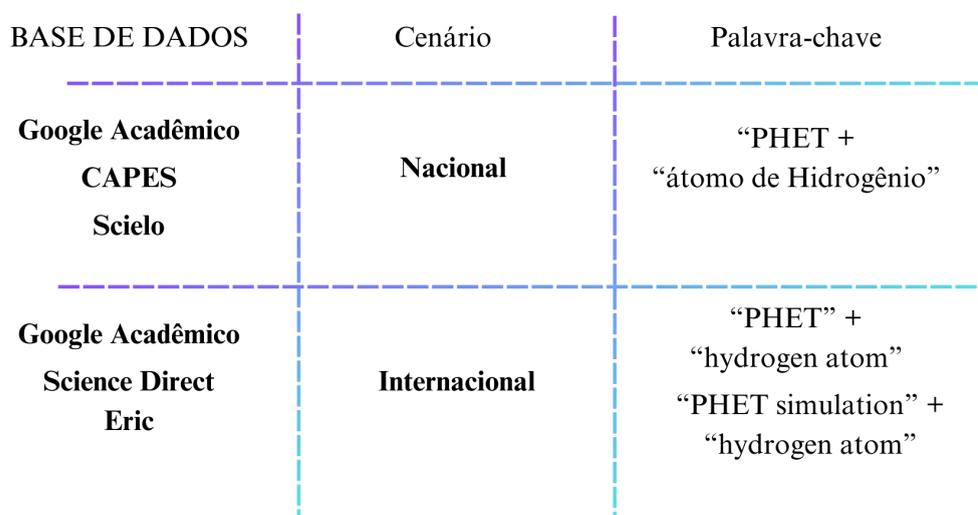
Essas dificuldades encontradas a partir dos estudos revisados constroem um ponto de partida para abordagem dos modelos atômicos, considerando que a exploração e a compreensão de objetos de visualização não podem ser dissociadas do conteúdo. Entretanto, para delinear o cenário no qual a presente pesquisa se enquadra é preciso ainda conhecer quais os resultados de pesquisas que lançaram mão do uso da simulação *Modelos para o átomo de Hidrogênio*³. Assim a próxima seção apresenta a busca realizada para construção desse contexto.

3.4 OS MODELOS ATÔMICOS E O USO DA SIMULAÇÃO PHET

Para a realização das buscas das publicações relacionadas ao uso da simulação *Modelos para o átomo de Hidrogênio* em pesquisas, no contexto nacional e internacional, foi definido um conjunto de palavras-chave (em português e inglês), utilizadas em cinco bases de dados pré-selecionadas (Figura 16) durante o mês de agosto de 2021. Para o cenário internacional foi realizada uma segunda fase com o intuito de melhorar o refinamento de busca, para excluir os estudos que apresentavam o termo 'phet' em contextos de química específica e não referente a simulação, assim, foi acrescentado o termo 'simulation'.

³ Simulação virtual produzida pelo grupo de pesquisa PhET
<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/hydrogen-atom>

Figura 16 – Esquema do sistema de busca pelas publicações que utilizaram a simulação Modelos para o átomo de Hidrogênio.



Fonte: Elaborada pela autora.

Foram encontradas ao total 111 publicações (nacionais e internacionais) que utilizaram ou citavam o uso de simulações do grupo PhET, destas foram extraídas as que utilizaram a simulação *Modelos para o átomo de Hidrogênio* e posteriormente as que exploraram apenas o uso desta simulação (Figura 16).

Quadro 2 – Etapas e critérios de refinamento e o número de publicações em português (PT BR) e inglês (ING).

PUBLICAÇÕES		CRITÉRIO DE REFINAMENTO
PT BR	ING	
86	26	Utiliza ou cita simulação PhET
17	4	Utiliza a simulação <i>Modelos para o átomo de Hidrogênio</i> do PhET associada a outras simulações
3	1	Como ferramenta de simulação utiliza apenas a de <i>Modelos para o átomo de Hidrogênio</i> do PhET

Fonte: Elaborado pela autora.

Nosso foco principal foi observar as atividades que exploraram o uso apenas da simulação *Modelos para o átomo de Hidrogênio*, considerando que o foco da presente pesquisa está na exploração das potencialidades visuais da mesma. Assim, foi analisada a metodologia e os resultados das quatro publicações (CLARK;

CHAMBERLAIN, 2014; PEREIRA; SCHUHMACHER; CARDOSO, 2014; SILVA; GRANDA, 2017; SILVA; GONÇALVES, 2019) resultantes da busca realizada.

Quadro 3 – Publicações que utilizaram a simulação *Modelos para o átomo de Hidrogênio*.

ANO	AUTORES	PUBLICAÇÃO
2014	Fernando de Candido Pereira, Elcio Schuhmacher e Gisele Luz Cardoso	A estratégia hands-on-tec e o uso de simuladores no ensino de conceitos sobre radiação eletromagnética a alunos do ensino médio.
2014	Ted M. Clark e Julia M. Chamberlain	Use of a phet interactive simulation in general chemistry laboratory: models of the hydrogen atom.
2017	Geilson Rodrigues da Silva e Lucas Pereira Gandra	Aplicação de um roteiro exploratório para o uso da simulação computacional: modelos do átomo de hidrogênio.
2019	Sostenes Marcos da Silva e Silwellem Talyta Gonçalves	Simulação computacional como instrumento facilitador no ensino de modelos atômicos.

Fonte: Elaborado pela autora.

Pereira, Schuhmacher e Cardoso (2014) realizaram a aplicação da pesquisa durante uma oficina pedagógica em uma escola pública na cidade de Lages, no estado de Santa Catarina. A base teórica utilizada foi a perspectiva *hands-on-tec*, que abrange a observação, a investigação, o registro e a discussão. Ao total foram quatro encontros, com 20 estudantes das três séries do ensino médio. Os estudantes também realizaram o experimento teste da chama utilizando vela e fósforo, no qual observaram em grupo a coloração da chama para cada elemento químico testado. Na atividade realizada pelos estudantes na pesquisa, os mesmos tinham de pintar qual cor eles conseguiam observar para cada elemento químico testado na chama. Os resultados foram debatidos no grande grupo. Posteriormente o professor orientou o uso da simulação, os participantes ficaram encarregados de observar os saltos dos elétrons por 20 minutos. Em seguida discutiu-se as observações com o grupo completo, no qual o professor participou esclarecendo dúvidas.

Os resultados apresentados na publicação estão embasados em falas dos estudantes extraídas dos momentos de debate, e que segundo os autores,

evidenciam ganhos positivos de aprendizagem relacionados à compreensão das propriedades da luz.

A pesquisa de Clarck e Chamberlain (2014) utilizou a simulação com graduandos em uma turma de laboratório de química. Durante a abordagem foi aplicado um teste online antes da aula de laboratório, em seguida os estudantes tiveram acesso a um vídeo explicativo sobre a simulação. Durante a exploração da simulação, os estudantes tiveram de solucionar a atividade entregue de forma impressa, podendo ser realizada em duplas ou grupos. A aplicação durou de 60 a 90 minutos. A exploração da simulação foi associada com uma atividade experimental na qual os estudantes observaram lâmpadas de descarga de gás de hélio e hidrogênio, e observavam os seus espectros.

A atividade impressa que os estudantes receberam foi um roteiro de laboratório com dezoito páginas (disponível na página do grupo PhET, na seção atividades, abaixo da simulação), no qual estavam as instruções de exploração da simulação, assim como uma introdução do conteúdo de espectroscopia, e os questionamentos que deveriam ser respondidos. As questões eram destinadas à observação de cada modelo atômico presente na simulação, no qual eles deveriam descrever ou desenhar o mesmo, e posteriormente indicar se para aquele modelo há formação de espectro. As demais questões estavam voltadas para o cálculo de frequência.

No momento da aplicação estavam envolvidos cerca de sete tutores, e os mesmos falaram sobre o conteúdo abordado, o que de acordo com o autor impactou nos resultados, e não foi possível registrar o ganho de aprendizagem associado ao estudo. Assim, o autor realizou uma avaliação sobre a percepção dos estudantes com relação à atividade, demonstrando um resultado majoritariamente positivo. Alguns estudantes disseram que a simulação os ajudou a visualizar os modelos.

O estudo de Silva e Gandra (2017) ocorreu com base na simulação através de um roteiro experimental, os estudantes receberam as instruções de como deveriam configurar a simulação para cada modelo estudado. Foram 27 estudantes do primeiro ano do ensino médio de escola pública localizada no Brasil. O estudo foi aplicado em três encontros de 45 minutos, sendo o primeiro uma aula expositiva dialogada com auxílio de slides sobre o conteúdo de modelos atômicos. O objetivo do roteiro exploratório foi avaliar as características e limitações de cada modelo, e as evidências experimentais que os mesmos abrangem. Para isso, os estudantes

tinham de preencher uma tabela de análise (Figura 17), e responder às questões da outra atividade (Figura 18).

Figura 17 – Análise dos modelos atômicos e suas características.

Modelo	Cor	Comprimento de onda	Observações
Bola de Bilhar			
Pudim de Passas			
Sistema Solar Clássico			
Bohr			
De Broglie			
Schroendiger			

Fonte: Silva e Gandra (2017).

Figura 18 – Questões aplicadas aos estudantes.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Existe alguma relação entre os três modelos quânticos do átomo proposto nesse experimento? Justifique. 2. Em relação a contribuição de Schröendiger, explique porque a nuvem eletrônica apresenta diversos formatos? 3. Qual(s) as limitações de cada modelo apresentado? 4. Qual modelo teórico é retratado na caixa preta? |
|--|

Fonte: Silva e Grandá (2017).

As questões aplicadas no estudo não solicitaram diagrama ou desenho por parte dos estudantes, dessa forma as respostas foram analisadas de acordo com a Análise de Conteúdo de Laurence Bardin, utilizando as categorias definidas posteriormente a leitura das respostas dos estudantes na íntegra, definidas pelos autores como abrangente, comparativa e reducionista.

Com relação aos resultados, apenas 10% das respostas foram classificadas na categoria reducionista, pois apresentavam as falhas do modelo levando ao abandono total por um novo. A maioria das respostas obtidas foram enquadradas na categoria abrangente, que apresentava de modo coerente os modelos, destacando seus limites e previsões científicas. Os demais estudantes (15%) apresentaram respostas que apresentavam uma concepção de modelo como transitório, repensado a partir dos resultados experimentais da época e em comparação com o modelo anterior. De modo geral, os autores destacam que a simulação foi capaz de impulsionar o ensino de modelos quânticos, no que tange ao uso de termos presentes nos modelos atômicos, porém sem grande profundidade quando a definição do mesmo.

A pesquisa realizada por Silva e Gonçalves (2019) teve como objetivo a discussão da evolução dos modelos atômicos. A abordagem contou com quatro encontros, sendo três de aula expositiva dialogada com base na simulação e o

último de realização da atividade composta por cinco questões voltadas para os modelos atômicos em si, e duas perguntas de opinião sobre a simulação. O público alvo foram estudantes do primeiro ano do ensino médio de uma escola pública da cidade de Caruaru no estado de Pernambuco. No geral, os autores consideraram que a simulação realmente contribuiu para a aprendizagem dos estudantes, sendo que a grande maioria acertou quase todas as questões da atividade.

As questões da atividade estavam voltadas para as limitações dos modelos atômicos de Dalton, Bohr e Rutherford, a massa do elétron, do próton e do nêutron e por fim, a diferença do elétron nos modelos clássicos e quânticos. Os autores não trazem construções pictóricas dos estudantes, e nem solicitam no enunciado das questões que os participantes apresentem desenhos em suas respostas. Com relação à opinião dos estudantes sobre o uso da simulação, os mesmos a consideraram legal e diferente, e que foi um auxílio importante para a compreensão do conteúdo.

De modo geral, a abordagem e exploração da simulação *Modelos para o átomo de Hidrogênio* ainda não é totalmente isolada e exclusiva. E parece estar voltada para complementar visualmente outras ferramentas e/ou momentos de ensino, ao invés de ser a ferramenta com papel central no processo de ensino e aprendizagem. Os objetivos dos estudos não tem sido o de abordar todo o conteúdo de forma integral a partir da simulação, explorando efetivamente cada detalhe e objeto que está presente visualmente na ferramenta, com o objetivo de cruzar as informações sobre o que é apresentado na simulação e o que é encontrado nos diagramas dos estudantes após o seu uso.

Assim como preparamos um slide para explicar conteúdos, ou utilizamos livros como ferramenta principal para guiar as explicações em sala, a simulação pode desempenhar o mesmo papel, trazendo benefícios para o ensino. Por exemplo, a simulação permite que os objetos não sejam sempre estáticos, ou que estejam organizados em uma única configuração. Com a simulação a interatividade pode ser ofertada ao estudante, ou ainda, o professor possui a possibilidade de fazer testes de predição quando os estudantes lançam perguntas durante as aulas, que favorece o envolvimento dos estudantes durante o ensino.

Outro fator positivo é a presença de múltiplos objetos de visualização que podem ser selecionados para aparecer apenas no momento em que ele será benéfico para a discussão do conceito, facilitando o controle de informações

disponibilizadas ao estudante, balizando assim a carga estranha sem sobrecarregar a memória de trabalho do aprendiz.

Visando que há ainda uma falta sobre o quanto a contribuição real na condução da construção de visualizações interpretativas dos estudantes, ou seja, as contribuições visuais que a simulação é capaz de oferecer para a aprendizagem dos estudantes, e que pode ser buscada a partir comparação entre os objetos de visualização presentes na simulação e nas externalizações (visualização interpretativa) construídas pelos estudantes em atividades, é nesse cenário em que a presente pesquisa se coloca. Assim, essa possibilidade é construída e apresentada metodologicamente para a simulação *Modelos para o átomo de Hidrogênio* na seção seguinte (Capítulo 4). No capítulo cinco são apresentados os resultados das externalizações dos estudantes encontrados a partir das atividades aplicadas, analisados sob a perspectiva da visualização no ensino de ciências.

4. A EXPLORAÇÃO DA SIMULAÇÃO SOB A PERSPECTIVA DA VISUALIZAÇÃO

As escolhas instrucionais da presente pesquisa se iniciam na seleção do objeto de visualização simulação. A decisão de utilizar a simulação *Modelos do átomo de Hidrogênio* desenvolvida pelo grupo de pesquisa *Physics Education Technology Project Interactive Simulation* (PhET) da Universidade do Colorado (Boulder), se deu pelo fato de que a mesma é alicerçada em preceitos do *design* instrucional voltados para o ensino considerando o processamento de informação, buscando minimizar a sobrecarga de informação, considerando a importância de se promover a visualização e a interatividade (MCKAGAN *et al.*, 2008). E com o intuito de buscar suprimir dificuldades relacionadas ao conteúdo de modelos atômicos já relatadas em estudos na área de ensino.

Todas as simulações desenvolvidas pelo grupo PhET, passam por processos de avaliação por meio de aplicações por professores em sala, revisão por pares da área de concentração de conhecimento da simulação, e entrevista com estudantes da área, no qual em alguns casos, eles interagem com a simulação sozinhos para avaliação. No *website* no qual o grupo disponibiliza as simulações, são apresentados os aspectos que fundamentam o desenvolvimento das mesmas, e ainda, o processo de construção e avaliação.

O ponto principal que impulsionou a construção da simulação é a dificuldade que os estudantes possuíam em visualizar acontecimentos relacionados a fenômenos discutidos em experimentos, e que estão associados ao modelo atômico, e que não podem ser vistos pelos estudantes, apenas imaginados. Assim a simulação se torna uma opção no qual “os alunos visualizam elétrons, fótons, átomos, ondas de interferência, e outros fenômenos quânticos que eles não podem observar diretamente” (MCKANGAN *et al.*, 2008), principalmente no que tange a interação da luz com a matéria (átomo).

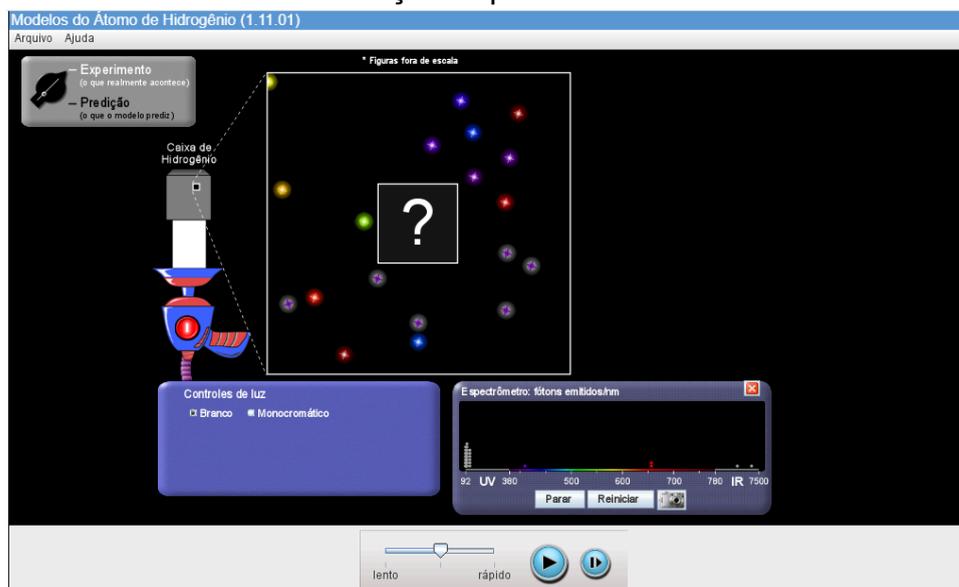
A simulação conta com dois cenários de abordagem, o de (i) predições (Figura 19) no qual são apresentados os modelos atômicos e sua interação com a luz (fótons) branca e monocromática, e o (ii) experimento (Figura 20) no qual os fótons são apresentados sem a interação com a matéria (modelo atômico).

Figura 19 – Imagem estática da simulação *Modelos para o Átomo de Hidrogênio* função Predição.



Fonte: Captura de tela da simulação.

Figura 20 – Imagem estática da simulação *Modelos para o Átomo de Hidrogênio* função Experimento.



Fonte: Captura de tela da simulação.

Ambos os cenários da simulação são formados por diferentes objetos de visualização, o que pode confundir os estudantes caso a abordagem não seja conduzida, gerando uma sobrecarga de informações visuais. Para que seja eficaz o uso da simulação, é preciso de orientação, o que fica evidente na própria fala dos estudantes que a utilizaram de forma independente (MCKAGAN *et al.*, 2008).

Por consequência, o conteúdo abordado ficou definido pela escolha da simulação, sendo também um conteúdo previsto como indicado pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A instituição de ensino escolhida foi o Colégio de Aplicação (CA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e como previsto no plano de ensino da instituição⁴, este conteúdo é abordado no primeiro ano do ensino médio, ficando à cargo da disciplina de química, o que definiu nosso público alvo.

Neste contexto foi então construída a proposta didática com a base teórica que alicerça a presente pesquisa (Capítulo 3), considerando a exploração gradual dos objetos de visualização que compõem a simulação evitando sempre a sobrecarga de informação, favorecendo o canal verbal e não-verbal da arquitetura cognitiva dos estudantes. Inicialmente o objetivo era que a aplicação se desse na modalidade presencial, no qual os estudantes iriam interagir com a simulação durante todas as aulas sob orientação e em conjunto com o professor. Entretanto, devido ao cenário de pandemia de COVID-19, que fechou as instituições em março de 2020, parando totalmente suas atividades, a proposta precisou ser repensada. Em meados do mesmo ano (junho/julho de 2020), a instituição retomou as atividades de ensino na modalidade remota por meio da plataforma moodle UFSC.

Assim, adaptações tiveram de ser feitas para que a aplicação fosse realizada no formato *online*, prevendo momentos síncronos e assíncronos, favorecendo ainda a exploração dos objetos de visualização da simulação, entretanto, agora em formato de aula expositiva dialogada no qual o professor explorou a simulação junto aos estudantes. Ainda no ano de 2020 foi realizada uma primeira aplicação como estudo piloto, para balizar as atividades e auxiliar nos ajustes necessários para reaplicação da pesquisa. Os dados dessa primeira aplicação não serão discutidos pois não estão autorizados para publicação. Assim, após a etapa de análises dos resultados preliminares, ajustes na proposta de estudo foram implementados. Posteriormente o projeto de pesquisa foi submetido ao comitê de ética da Universidade Federal de Santa Catarina, obtendo aprovação em fevereiro de 2021⁵.

⁴ Plano de ensino da instituição de ensino <<https://www.ca.ufsc.br/planos-de-ensino-2/>>.

⁵ Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) 42599121.60000.0121 ou pelo número do parecer 4536557, diretamente na plataforma Brasil.

A aplicação da pesquisa foi iniciada em maio do mesmo ano, sendo concluída em meados de junho. Antes de iniciar as aulas efetivamente, os termos de consentimento e assentimento livre e esclarecido foram enviados aos pais/responsáveis e aos estudantes, respectivamente, de acordo com as exigências do comitê. Para o ensino remoto os estudantes da primeira série do ensino médio utilizaram a plataforma moodle UFSC, para ter acesso ao material assíncrono e acesso ao *link* para aula síncrona que ocorria semanalmente às sextas-feiras pela manhã, das 9h e 45min às 11h, com intervalo de 15 minutos. No total foram cinco semanas de aula. As aulas foram gravadas para que os estudantes tivessem acesso restrito posteriormente aos encontros. Além das aulas, os estudantes tinham também horário de atendimento no contraturno, oferecido também pelo professor, de uma hora, todas as segundas-feiras no período da tarde. Ao total eram cerca de 100 estudantes matriculados na disciplina, entre esses apenas 42 preencheram os requisitos para efetivar sua participação, que eram: (i) ter o termo de assentimento preenchido, (ii) o termo consentimento de participação preenchido pelos responsáveis, e (iii) realizar todas as quatro atividades propostas durante a abordagem metodológica da pesquisa.

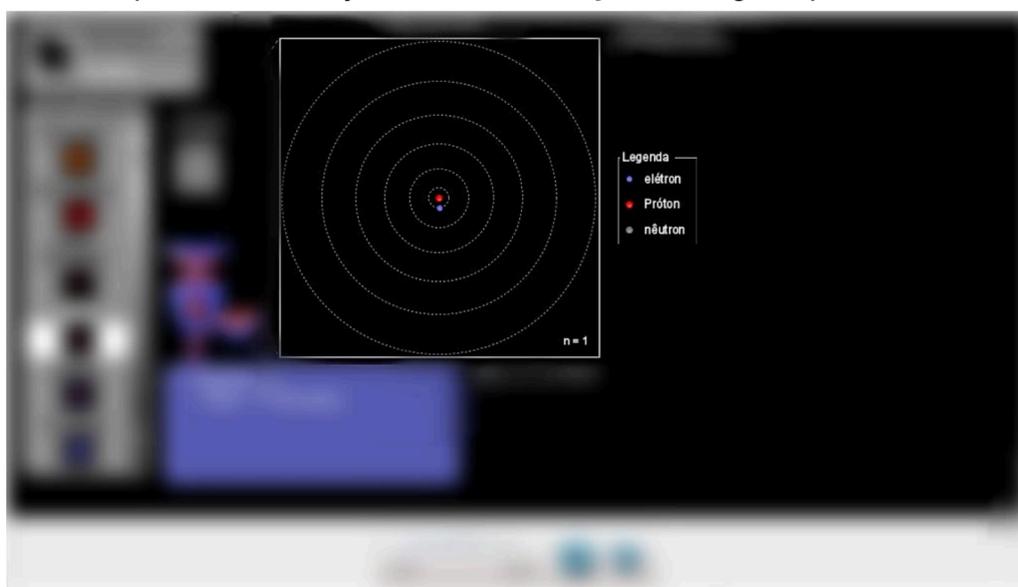
Para a exploração da simulação, e dos objetos de visualização que a compõem, foram estabelecidos os pontos a serem discutidos nos encontros síncronos, e que serão apresentados na seção a seguir. O objetivo era discutir os pontos relacionados ao tópico de modelos atômicos a partir dos objetos de visualização, favorecendo assim a visualização dos estudantes através da simulação.

4.1 O FAVORECIMENTO DAS EXPERIÊNCIAS VISUAIS ATRAVÉS DOS OBJETOS DE VISUALIZAÇÃO

Foram realizados cinco encontros síncronos para abordagem e discussão do conteúdo de modelos atômicos, sendo todos permeados pela exploração da simulação e ministrados pela autora da presente pesquisa, com o apoio do professor regular da turma. Os pontos selecionados para discussão estão diretamente associados às possibilidades de exploração dos objetos de visualização de acordo com as funções disponibilizadas pela simulação.

O primeiro encontro síncrono foi direcionado para o estudo dos objetos de visualização utilizados para apresentar os modelos atômicos desde os clássicos aos quânticos, totalizando seis modelos abordados. Nesse primeiro momento de contato com a simulação, optou-se por abordar os modelos sem o uso da função animação. A simulação apresenta uma função que pode ser ativada para mostrar o movimento do elétron na eletrosfera. Essa decisão foi tomada considerando que nesse momento poderia gerar sobrecarga de informação, desviando assim a atenção dos estudantes sobre os objetos analogia e pictórico, foco do encontro. O objeto de visualização analogia está presente nas relações estabelecidas nas cores para identificar o próton, o elétron e o local em que estão de acordo com a legenda, e também no modelo 'ampliado' por meio do objeto de visualização pictórico (Figura 21).

Figura 21 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio na função Predições, explorando os objetos de visualização analogia e pictórico.

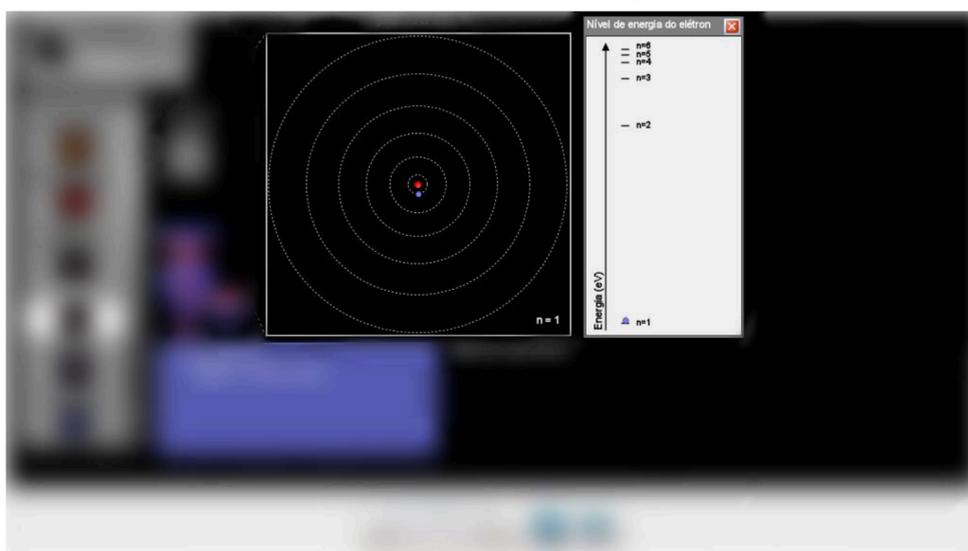


Fonte: Elaborada pela autora.

A função predição foi utilizada durante todo o primeiro encontro síncrono, direcionando o olhar dos estudantes para a legenda e o modelo, destacando as analogias construídas para apresentar o modelo, enfatizando ser um processo de criação sem visão real e direta do átomo. Esse ponto voltou a ser discutido e reforçado durante outros momentos, principalmente no decorrer da discussão sobre a espectroscopia.

Para o segundo encontro síncrono, a opção *play* foi utilizada, considerando que o objetivo foi abordar o movimento do elétron, e o seu colapso com o núcleo devido a perda de energia no modelo planetário, mostrado na simulação com a animação. Outro ponto destacado nesse momento da aplicação foi relacionar os níveis de energia definidas por Niels Bohr ao diagrama esquemático dos níveis de energia. Cada nível de energia prevê uma quantidade de elétrons, assim como um valor de energia aceitável. Desse modo, em situações em que um elétron ganha energia, ele mudará para um nível mais externo. À medida que as camadas se afastam do núcleo, maior é seu nível de energia. As camadas são nomeadas como K, L, M, N, O, P e Q. Para a discussão, foi ativada a função níveis de energia, presente na simulação, para apresentar o objeto de visualização diagrama esquemático (Figura 22) que pode auxiliar na compreensão do comportamento do elétron ao absorver e emitir energia. A cada momento em que o elétron ganha ou perde energia e muda de nível, o diagrama ilustra o salto dado pelo elétron mostrando o novo nível ocupado. Esse direcionamento do olhar dos estudantes para acontecimentos simultâneos e que estão interligados foi fundamental para a discussão nos próximos encontros.

Figura 22 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio, função Predições, explorando o objeto de visualização diagrama esquemático.



Fonte: Imagem estática e editada da simulação.

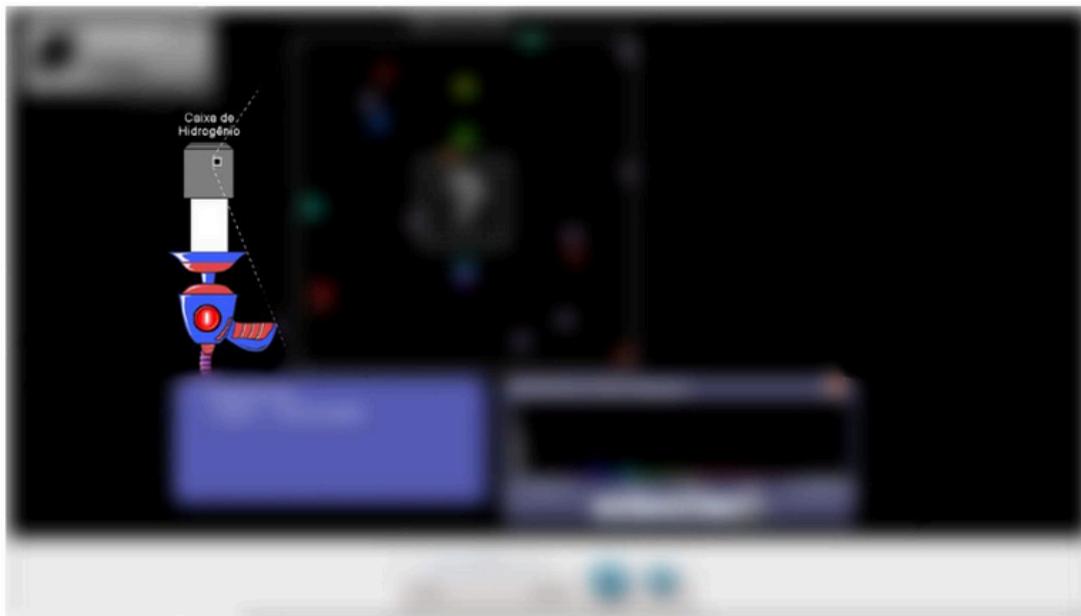
Nesse ponto, somam-se então dois novos objetos de visualização, animação e diagrama esquemático, aos utilizados no encontro anterior, analogia e pictórico,

com o intuito de evoluir gradualmente as experiências visuais sem causar sobrecarga, desenvolvendo a habilidade de visualizar dos estudantes. É importante salientar que as escolhas dos objetos em cada etapa está diretamente associada aos conceitos discutidos, sendo esses objetos relevantes para a compreensão dos estudantes. A exploração dos objetos não pode ser dissociada do conteúdo, e vice-versa, considerando que os objetos visuais possuem significado quando inseridos e discutidos dentro de sua área de conteúdo.

Na etapa seguinte (terceiro e quarto encontro síncrono) a abordagem foi voltada para os objetos de visualização que apresentavam o conceito experimental da espectroscopia, que foi importante para a construção representacional dos modelos atômicos de transição e quânticos. Subjetivamente, a abordagem da espectroscopia auxilia na desconstrução da concepção de que os átomos podem ser vistos a olho nu, considerando que essa é uma área experimental que auxilia na construção dos modelos de forma a mostrar indicativos coerentes ao modelo descrito. A simulação foi explorada na função experimento, sem que o modelo fosse apresentado na tela, sendo a discussão focada nos fótons e no espectro de absorção e emissão em relação ao átomo de Hidrogênio.

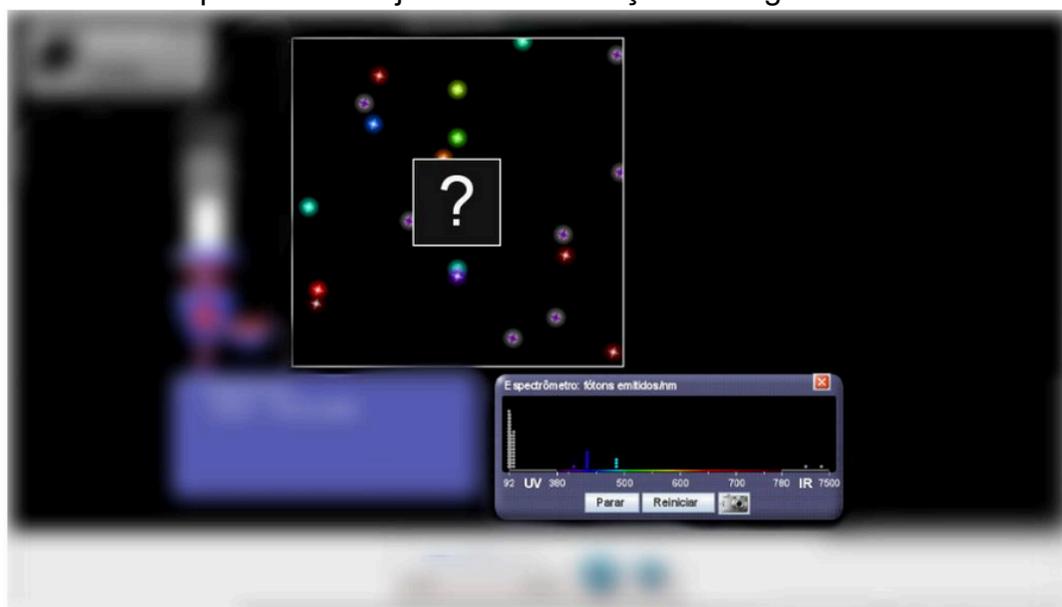
A estrutura na qual há o acionamento da fonte de emissão de luz branca ou monocromática é entendida como o objeto de visualização pictórico (Figura 23), e ainda a apresentação dos fótons com coloração como objetos visuais de analogia, para relacionar as frequências emitidas pela fonte luminosa ao espectro de emissão do átomo,- franjas claras-, (Figura 24). Com relação ao espectro de absorção e emissão podemos reconhecer como objeto de visualização diagrama esquemático (Figura 25), e a emissão dos fótons como objeto de visualização animação.

Figura 23 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio, função Experimento, explorando o objeto de visualização pictórico.



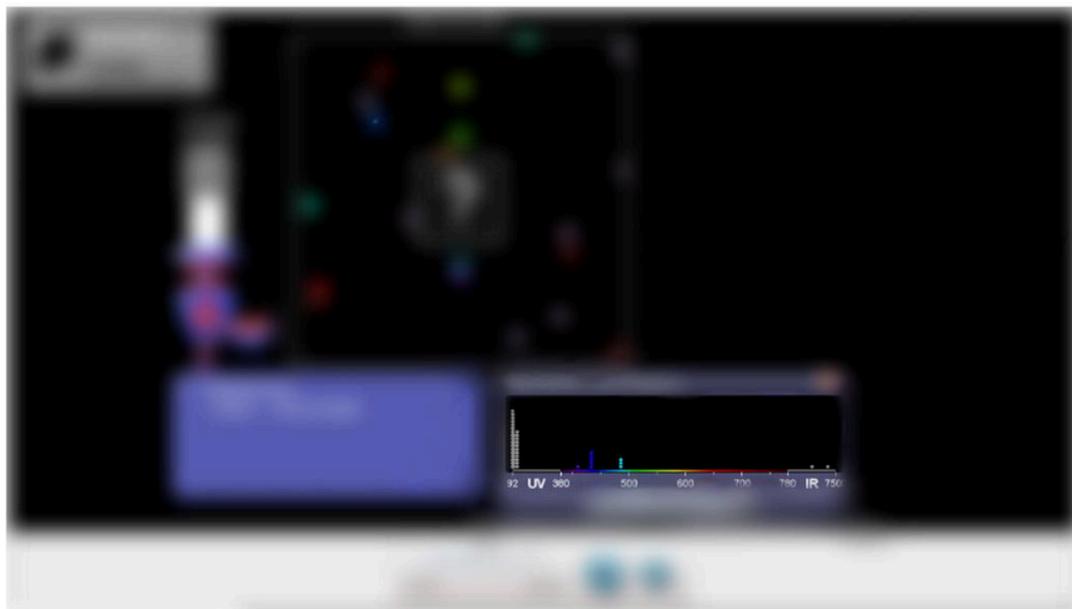
Fonte: Imagem estática e editada da simulação.

Figura 24 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio, função Experimento, explorando o objeto de visualização analógica.



Fonte: Imagem estática e editada da simulação.

Figura 25 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio, função Experimento, explorando o objeto de visualização diagrama esquemático.



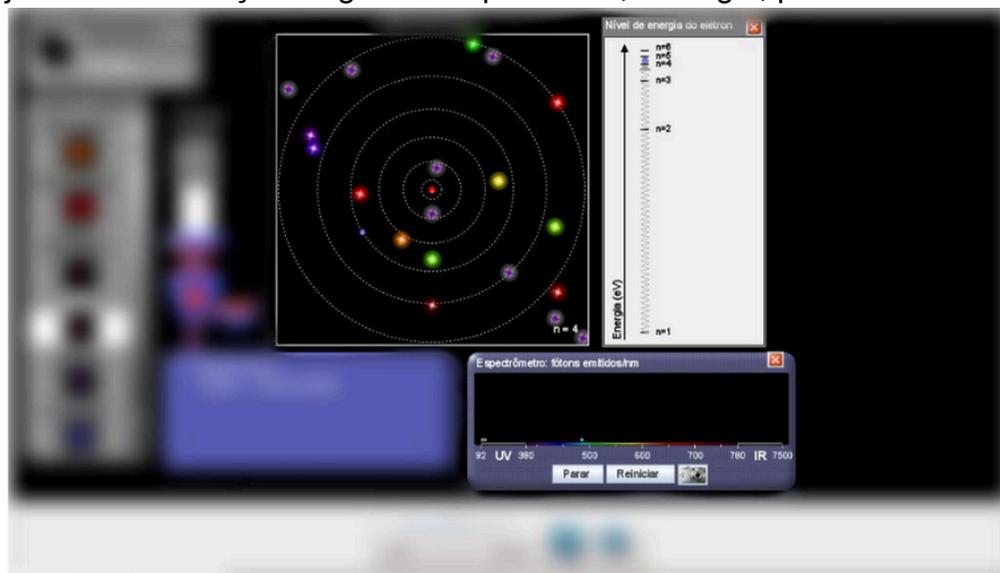
Fonte: Imagem estática e editada da simulação.

Essa discussão sobre o conceito e a estrutura experimental da espectroscopia é necessária para alicerçar as discussões que se seguirão sobre os modelos quânticos, considerando que a interação entre luz, - fóton -, e matéria, - elétron-, modificou a perspectiva teórica sobre a própria estrutura atômica e o comportamento de suas partículas. Durante a abordagem foi destacada aos estudantes as diferenças entre a espectroscopia, que se relaciona ao elétron e seu comportamento, e o experimento realizado por Rutherford, que se destina ao estudo e a nova concepção - na época- de existência de núcleo e próton. Essa distinção é relevante, dado que confusões sobre essas configurações experimentais de estudo estão presentes entre os estudantes. A abordagem da espectroscopia, como funciona seus dados, é a chave principal que influencia as perspectivas quânticas do modelo atômico, que se dá justamente pelas novas interpretações associadas ao elétron.

O último ponto discutido, - quinto encontro síncrono -, foi os modelos de transição e quânticos e a espectroscopia, ou seja, a idealização da interação da luz com a matéria, influenciando no comportamento do elétron, originando assim o espectro de emissão. O objetivo foi direcionar o olhar dos estudantes para a relação entre o diagrama esquemático dos níveis de energia, a representação pictórica do átomo de Hidrogênio, o diagrama do espectro de emissão, e a animação do elétron

saltando entre as camadas no átomo e, conseqüentemente, a movimentação do elétron entre os níveis de energia (Figura 26).

Figura 26 - Atividade Modelos do Átomo de Hidrogênio, função Predição, explorando o objeto de visualização diagrama esquemático, analogia, pictórico e animação.



Fonte: Imagem estática e editada da simulação.

Considerando que as ligações entre os objetos de visualização são complexas e ocorrem simultaneamente, o processo de segmentação da abordagem dos objetos de visualização até esse momento é realizado com o objetivo de minimizar sobrecargas que podem ser causadas por meio da abordagem metodológica, ou seja, a carga intrínseca ao conteúdo não pode ser modificada, no entanto a extrínseca pode ser administrada durante o processo de ensino.

A percepção dos estudantes foi orientada durante a exploração da simulação em cada encontro síncrono, com a finalidade de favorecer as experiências visuais evitando a sobrecarga de informação oferecendo explicações verbais junto à informações não verbais, - objetos de visualização-, favorecendo assim o duplo processamento na memória de trabalho.

Diferentes aspectos da simulação, ou seja, objetos de visualização, foram explorados gradativamente. E em momentos determinados, em configurações diferentes de apresentação, específicas e distintas (Quadro 4).

Quadro 4 - Configurações de exploração da simulação durante os encontros síncronos.

ENCONTROS SÍNCRONOS	DISCUSSÃO	SIMULAÇÃO	OBJETO DE VISUALIZAÇÃO
1ª Os modelos atômicos, sem animação	As características dos seis modelos atômicos.	Função Predição, função de <i>play</i> desativada.	<i>Analogia</i> (representação do próton e elétron na legenda), <i>Pictórico</i> (representação do modelo de cada átomo).
2ª Os modelos atômicos, com animação	O comportamento dos elétrons nos diferentes modelos atômicos e sua relação com os níveis de energia.	Função Predição, função <i>play</i> ativada. Função níveis de energia ativada.	<i>Animação</i> (movimento do elétron) <i>Diagrama Esquemático</i> (diagrama de nível de energia).
3ª Os elétrons e os níveis de energia	O que é a espectroscopia e conceitos envolvidos (fóton, espectro eletromagnético).	Função Experimento, Função Espectrômetro ativada, opção luz Branca selecionada.	<i>Animação</i> (Fótons), <i>Pictórico</i> (fonte emissora de luz e caixa com Hidrogênio gasoso), <i>Analogia</i> (coloração do fóton e a cor da luz que representa), <i>Diagrama Esquemático</i> (Espectrômetro).
4ª Espectroscopia	A relação entre os modelos atômicos de Bohr e Schrödinger e a espectroscopia.	Função Predição, função <i>play</i> ativada, função Nível de energia e Espectrômetro ativadas	<i>Animação</i> (emissão e absorção do fóton), <i>Analogia</i> (fóton na cor da luz a que ele corresponde), <i>Pictórico</i> (o modelo do átomo), <i>Diagrama Esquemático</i> (Nível de energia).
5ª A diferença entre espectroscopia e o experimento de Rutherford	A diferença da espectroscopia e o experimento de dispersão de Rutherford (esquema do experimento).	Função Experimento, <i>play</i> desativado.	<i>Pictórico</i> (fonte emissora de luz e caixa com Hidrogênio gasoso), <i>Analogia</i> (coloração do fóton e a cor da luz que representa).

Fonte: Elaborado pela autora.

Para avaliar as contribuições dessa exploração, entre as aulas síncronas os estudantes tiveram de realizar atividades assíncronas, como forma de acompanhar o desenvolvimento da habilidade visual dos participantes. E ainda, o domínio do conteúdo, considerando que a visualização não pode ser dissociada dos conceitos ligados aos objetos de visualização, pois os mesmos possuem significado quando dentro de seu contexto conceitual. Dessa forma as atividades foram lançadas buscando conhecer as visualizações construídas pelos estudantes no decorrer do processo, e são apresentadas e discutidas na secção que se segue.

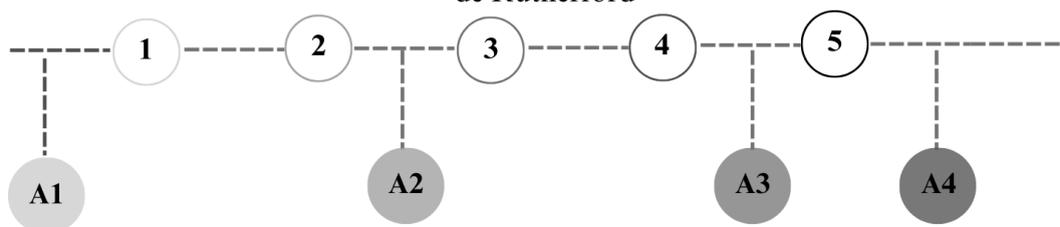
4.2 AS ATIVIDADES DE AVALIAÇÃO DA VISUALIZAÇÃO INTERPRETATIVA

Antes do primeiro encontro, uma atividade para conhecer as visualizações prévias dos estudantes sobre os modelos atômicos foi aplicada, e foi reaplicada após a finalização de todas as intervenções síncronas de exploração dos objetos de visualização. A comparação pré e pós abordagem do conteúdo por meio dos canais verbal e não-verbal, teve como objetivo a comparação direta de questões que se repetiam, somados à outras duas atividades que auxiliaram na investigação das externalizações visuais construídas pelos estudantes sendo uma atividade aplicada entre os encontros síncronos dois e três, e entre os encontros quatro e cinco (Figura 27).

Figura 27 - Estrutura das atividades síncronas e assíncronas da abordagem de ensino.

SÍNCRONO

- 1 - Os modelos atômicos, sem animação
- 2 - Os modelos atômicos, com animação.
- 3 - Os elétrons e os níveis de energia.
- 4 - Espectroscopia
- 5 - A diferença entre espectroscopia e o experimento de Rutherford



- A1 - O que você conhece sobre o átomo?
 A2 - Os elétrons e os níveis de energia!
 A3 - O que você aprenderu até aqui!
 A4 - Testando o que você aprendeu.

ASSÍNCRONO

Fonte: Elaborada pela autora.

Para acompanhar o desenvolvimento da coerência representacional dos estudantes, além da habilidade de visualizar, as questões foram elaboradas para serem respondidas no formato escrito e diagrama/desenho, o que possibilitou conhecer tanto a coerência interna das questões quanto entre as respostas de cada pergunta.

A atividade 1 (Apêndice A) , que coletou dados antes da abordagem do conteúdo, e será chamado aqui na pesquisa como pré-teste, foi aplicada antes de qualquer intervenção e exploração dos objetos de visualização, e contou com oito questões no total, que foram reaplicadas na atividade 4 (Apêndice 4), ao fim de toda a abordagem de ensino. O objetivo foi conhecer quais externalizações os estudantes apresentavam em relação ao átomo. Na primeira questão (Q1) os estudantes tiveram de responder *“O que você entende por átomo? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta”*, o que levou à construção e externalização de representações baseadas nas visualizações interpretativas que cada estudantes possuía. Sendo esperado que anteriormente à exploração dos objetos de visualização, fossem encontrados diagramas simples e relacionados apenas a um único modelo, mais comum e difundido pelos meios de comunicação, como já encontrado na literatura (seção 3.2). E em análise direta de

respostas, após a abordagem os estudantes fossem capazes de representar todos os modelos construídos, compreendendo sua validade dentro de seu contexto explicativo.

Enquanto isso a questão 2 (Q2) perguntou aos estudantes se eles consideravam que o modelo representado em Q1 estava associado a um elemento químico, questionando se *“O átomo que você apresentou na questão anterior, corresponde à representação de algum elemento químico? Caso sim, qual elemento?”*. A hipótese é que os estudantes diriam que não estava associado a nenhum elemento químico antes da abordagem, como encontrado na literatura. E após a exploração dos modelos para o átomo de Hidrogênio, os mesmos conseguissem associar o modelo atômico escolhido a algum elemento químico de maneira correta. A exploração visual do objeto de visualização pictórico sobre o elemento Hidrogênio, a abordagem da espectroscopia junto ao contexto de que outros elementos apresentam espectros de emissão diferentes, orienta a experiência visual do estudante para essa percepção de distinguir os elementos por conta de sua configuração eletrônica, considerando que esse ponto é debatido constantemente através dos objetos de visualização.

As questões 3 (Q3)⁶ e 4 (Q4)⁷ foram incluídas na atividades com o objetivo de levantar o ponto discutido na literatura, como destacado nos estudos os estudantes compreendem normalmente que o átomo pode ser visto/enxergado, e não como criação teórica a partir de evidências científicas, e que por essa razão modelos anteriores se tornam invalidados. O objetivo foi reconhecer se esta percepção foi superada após as experiências visuais dos objetos da simulação.

A atividade 2 (Apêndice B) foi composta por 2 questões (Q1 e Q2) que apresentam extrações dos objetos de visualização pictórico (átomo de Bohr e de Schrödinger) e diagrama esquemático (diagrama de níveis de energia) presentes na simulação, as questões pediam para que os estudantes reconhecessem os modelos atômicos de Bohr e Schrödinger, respectivamente em cada questão, e os associassem aos diagramas de níveis de energia de cada modelo. A ideia era que nesse momento os estudantes já fossem capazes de realizar essa integração entre os objetos de visualização pictórico e diagrama esquemático.

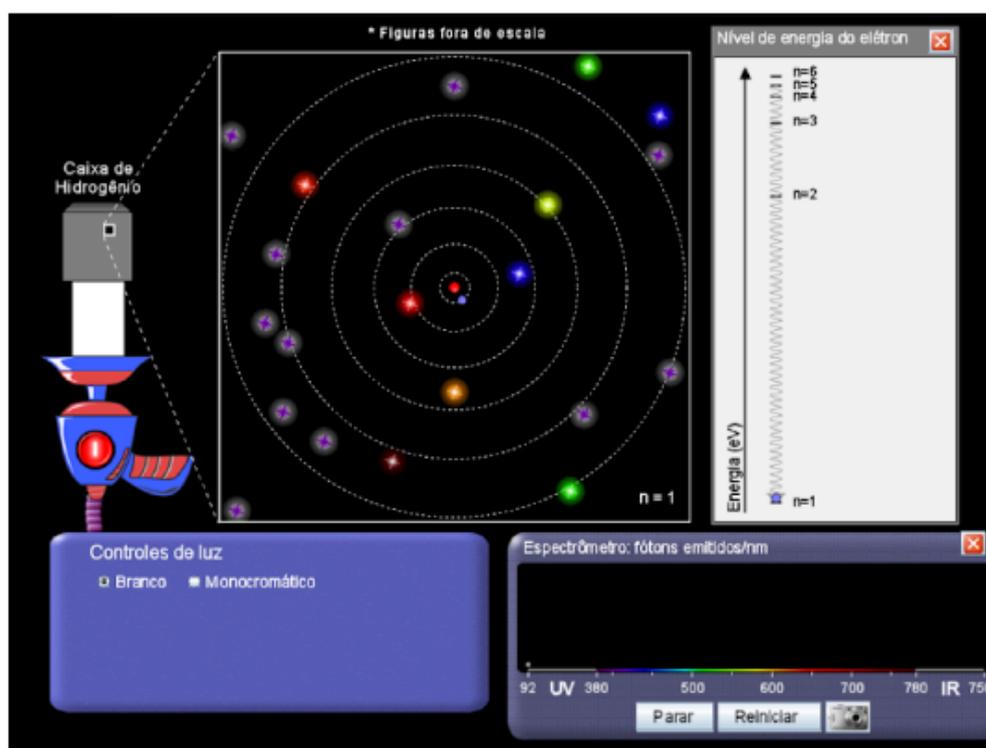
⁶ Q3 - Existe alguma maneira de enxergar o átomo? Justifique sua resposta.

⁷ Q4- Você considera que há apenas uma forma de representar o átomo? Justifique sua resposta.

A atividade 3 (Apêndice C) apresenta questões de múltipla escolha, no qual os estudantes tinham de encontrar a resposta correta entre as alternativas apresentadas. Entre as 10 questões que integravam a atividade, sete apresentavam objetos de visualização da simulação ou em isolado ou em tela integrada, como no caso das questões quatro (Figura 28) e oito que apresentavam o modelo atômico de Bohr e Schrödinger, respectivamente, e seu diagrama de níveis de energia e o acontecimento da emissão e absorção, no qual os estudantes tinham de julgar se a afirmação explicativa da imagem era verdadeira ou falsa. A atividade foi elaborada utilizando o Google formulário, assim os estudantes podiam ver ao final o resultado de acertos e feedback com a explicação correta caso errassem.

Figura 28 - Questão quatro da atividade três utilizada na abordagem de ensino.

4 - "A imagem abaixo mostra o elétron 'saindo' da camada $n=6$ para a camada $n=1$, após liberar um fóton no comprimento de onda do ultravioleta". Julgue essa afirmação como verdadeira ou falsa: * 1 ponto



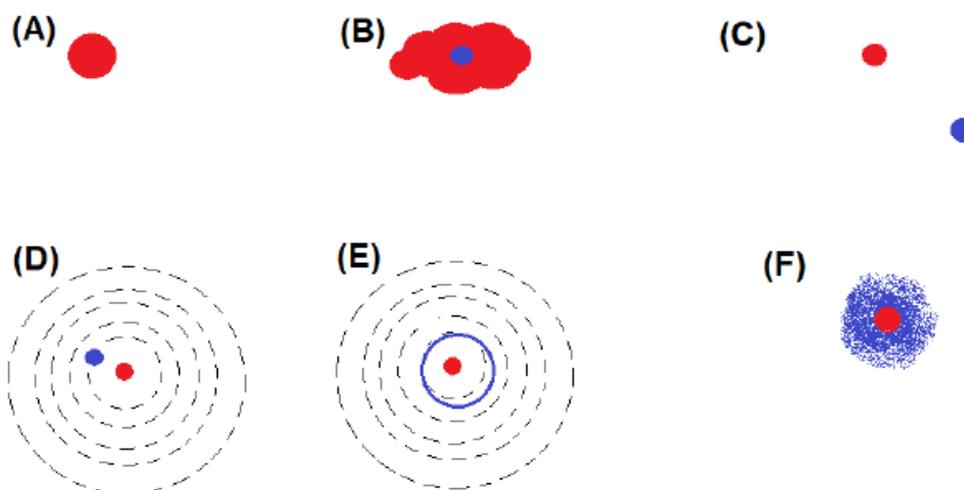
- Verdadeira.
- Falsa.

Fonte: Captura de tela da atividade 4.

A atividade 4, que coletou os dados após a exploração da simulação na abordagem, e será chamado aqui na pesquisa como pós-teste (Apêndice C), aplicada após o encerramento de todos os encontros síncronos, contou com um total de dez questões, sendo a reaplicação das oito perguntas da atividade 1 e a inclusão de mais duas perguntas, sendo a questão quatro (Figura 29) e a questão dez, que inseriu o uso da simulação pelos estudantes de maneira orientada na função experimento.

Figura 29 - Questão quatro (Q4) da atividade quatro (A4) utilizada na abordagem de ensino.

4) Na imagem abaixo escolha a ou as representações que você acredita que podem simbolizar e caracterizar o átomo de Hidrogênio, para isso basta responder informando a(s) letra(s) selecionadas por você. Justifique o motivo da(s) sua(s) escolha(s).



Legenda: em vermelho a representação da região positiva do átomo (próton); em azul as regiões negativas (elétrons); as linhas tracejadas nas figuras (D) e (E) representam os níveis de energia.

Fonte: Captura de tela da atividade 4.

A questão 10 da atividade 4 solicitava aos estudantes que “Com base na sua observação, apresente um modelo para explicar o que está acontecendo dentro da caixa que contém o gás de Hidrogênio. Para responder utilize texto e desenho/diagrama. Inclua também um printscreen da tela da simulação.”, a hipótese é que os estudantes já conseguiriam nessa etapa, configurar a simulação de acordo com as orientações, observar os acontecimentos no espectro de emissão, e selecionar um modelo atômico, seja o de Bohr ou o de Schrödinger, para explicar o que estava acontecendo na caixa preta que continha o Hidrogênio.

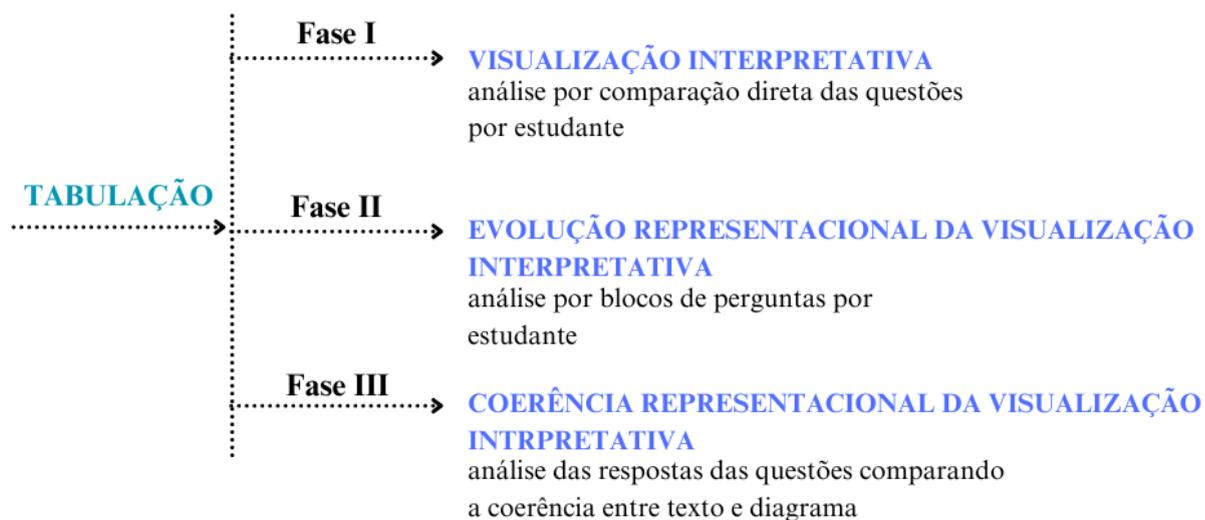
As questões das atividades foram pensadas com o objetivo de buscar evidências de que, a compreensão e o desenvolvimento da habilidade de visualização fossem encontrados através das externalizações textuais e diagramadas (desenhos) dos estudantes, indicando a existência de coerência representacional entre as respostas das questões que abrangiam o mesmo objeto de visualização e conceito, quando as respostas à essas questões fossem corretas.

As análises feitas sobre as respostas encontradas às questões das atividades tiveram como princípio o favorecimento de ao menos duas formas de externalização, considerando justamente, que transitar entre os objetos de visualização é um ponto crucial que evidencia o desenvolvimento da habilidade visual. Para compreender melhor como foram as etapas de análise dos dados, a próxima seção apresenta os momentos desse processo.

4.3 O PROCESSO DE ANÁLISE DAS VISUALIZAÇÕES INTERPRETATIVAS

Os dados coletados através das atividades aplicadas, foram lidos e analisados na íntegra, sendo realizada então a tabulação através da criação de códigos e siglas para as respostas serem alocados em uma planilha contendo todas as externalizações das trinta questões feitas a todos os estudantes nas quatro atividades aplicadas. Alguns desses códigos aparecem posteriormente junto à apresentação dos dados. Após essa organização foram realizadas as três fases de análise (Figura 30), é importante ressaltar que estas estão embasadas nas próprias discussões teóricas da visualização, compreendendo que a visualização interpretativa é o conhecimento construído pelo estudante, com a possibilidade de evolução quando a abordagem favorece esse processo. Outra análise realizada foi a existência da coerência nas respostas construídas e expressadas pelos estudantes. Coerência interna entre os objetos de visualização diagrama esquemático e texto, e também entre as respostas dadas às diferentes perguntas das atividades aplicadas.

Figura 30- Fases do processo de análise dos dados.



Fonte: Elaborada pela autora.

As externalizações dos estudantes foram analisadas dentro das fases a partir da comparação direta das questões que foram aplicadas antes e após a prática da proposta pedagógica, de forma isolada, ou em blocos de respostas (Figura 30). Na fase I o objetivo era analisar os dados de modo geral, mostrando os resultados por questão através de comparação direta entre as perguntas aplicadas na atividade 1 (pré-teste), e sua replicação na atividade 4 (pós-teste). Já na fase II, foram analisados blocos de questões aplicando filtros na planilha de dados, considerando assim as respostas a questões diferentes para um único conjunto de perguntas que tinham relação. Assim foram criadas quatro categorias de evolução conceitual, sendo: ausência de evolução, baixa evolução, média evolução, e alta evolução visual interpretativa.

Para compreender os filtros utilizados nesta etapa, é importante destacar que a concepção de evolução da visualização interpretativa é compreendida através das construções visuais elaboradas pelos estudantes (externalizações). Considerando que essa evolução está associada à habilidade visual de utilizar e transitar entre diferentes expressões visuais, neste caso, dos modelos atômicos, um estudante que passa de um modelo único para múltiplos, demonstra capacidade em compreender a existências de diferentes modelos e representá-los de forma correta. Caso nenhuma alteração sobre seu diagrama aconteça, isso significa que visualmente o estudante não integrou novas informações visuais ao esquema sobre

o tema presente em sua arquitetura cognitiva, o que é um indicativo para a falta de evolução.

De modo geral, o desenvolvimento da visualização interpretativa pode ser observado em estudantes que são capazes de construir múltiplas representações sobre um conceito, indicando uma competência representacional desenvolvida (NKOSI; MNGUNI, 2020). Assim, nessa fase o filtro aplicado foi a observação das respostas à pergunta: *O que você entende por átomo? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta*, feita no pré e pós teste (atividade 1 e 4 respectivamente), juntamente às perguntas: *O átomo que você apresentou na questão anterior, corresponde à representação de algum elemento químico? Caso sim, qual elemento?* e *O que você entende por elétron? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta*.

O bloco de questões foi analisado em conjunto considerando que são respondidas com base em um modelo ou múltiplos modelos atômicos, e precisa estar coerente cientificamente, sem divergir entre si. Os resultados obtidos são discutidos e apresentados na seção 5.2.

Na fase III a análise acontece em uma camada mais profunda dos dados, e busca indicar através dos resultados a coerência entre as informações verbais e não-verbais construídas pelos estudantes para as perguntas que solicitaram texto e diagrama/desenho. Ou seja, a coerência entres os objetos de visualização textual e diagrama. Um exemplo de falta de coerência interna entre os objetos de visualização expressados pelos estudantes, está presente na situação em que na descrição textual está a definição de que o átomo possui o núcleo composto por prótons e nêutrons, enquanto no diagrama o mesmo é apresentado como uma esfera maciça e preenchida, sem distinção das partículas subatômicas. Na seção 5.3 os resultados são apresentados e detalhados para essa análise.

É indispensável ressaltar que todas as discussões se embasam no que é externalizado pelos estudantes, e que a visualização compreende que estas nada mais são do que construções externas e concretas de visualizações interpretativas, ou seja, do conhecimento interpretado pelo aprendiz. Essas informações são processadas em sua memória de trabalho, e posteriormente, devem ser organizadas e integradas em suas arquiteturas cognitivas em esquemas pré existentes.

Não há possibilidade de observar diretamente os processos cognitivos que ocorrem na memória de trabalho e que se fixam na memória de trabalho dos

participantes. O que se prevê e discute, é que o uso e exploração de objetos de visualização presentes na simulação potencializam as externalizações futuras dos estudantes, ao ponto de favorecerem a visualização interpretativa. Apenas o contexto externo pode ser manipulado previamente e de forma gradual, para que se contraponha ao posterior, mas não os processos cognitivos internos.

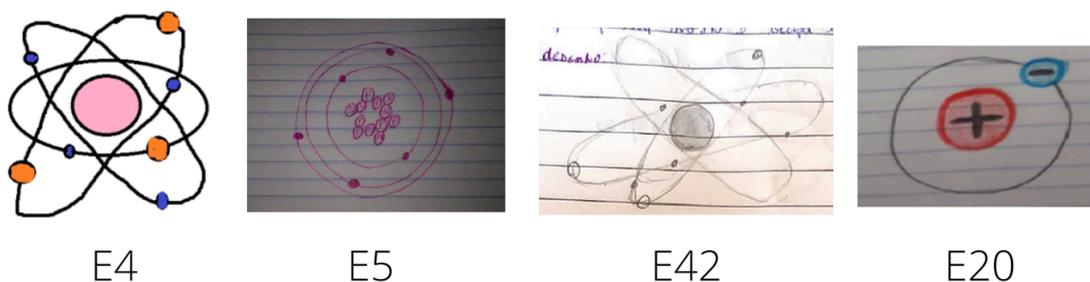
Em cada ponto discutido as questões são novamente trazidas no texto para uma melhor compreensão da discussão e da construção das análises. O capítulo a seguir (Capítulo 5) apresenta os resultados encontrados e a discussão sobre os mesmos.

5. A VISUALIZAÇÃO SOBRE MODELOS ATÔMICOS

Foram planejadas ao total quatro atividades para avaliação das possibilidades da simulação em potencializar a visualização dos estudantes sobre modelos atômicos através da simulação Modelos do Átomo de Hidrogênio. Ao total foram 30 questões aplicadas durante a exploração dos objetos de visualização presentes na simulação e que, de acordo com a visualização, impulsionam a construção de visualizações interpretativas cognitivamente, e que posteriormente embasam a produção de externalizações explicativas (Capítulo 2).

O primeiro momento de coleta, no qual os estudantes tiveram de externalizar a sua concepção sobre o que é o átomo (atividade 1 - questão 1) antes de qualquer intervenção ou exploração da simulação, a expectativa era que os diagramas apresentados iriam ao encontro aos relatados na literatura da área (Capítulo 3), trazendo modelos associados a concepção de Rutherford e Bohr, o que se efetivou diante das respostas dos estudantes (Figura 31).

Figura 31 - Diagramas do átomo apresentados pelos estudantes antes da exploração da simulação.



Fonte: Diagramas extraídos das respostas da atividade 1.

A partir desse ponto, acreditava-se que a simulação teria o potencial de alterar esse cenário modificando as externalizações apresentadas às atividades no decorrer da abordagem. Ou seja, os estudantes partiriam da externalização de um único modelo, para múltiplos.

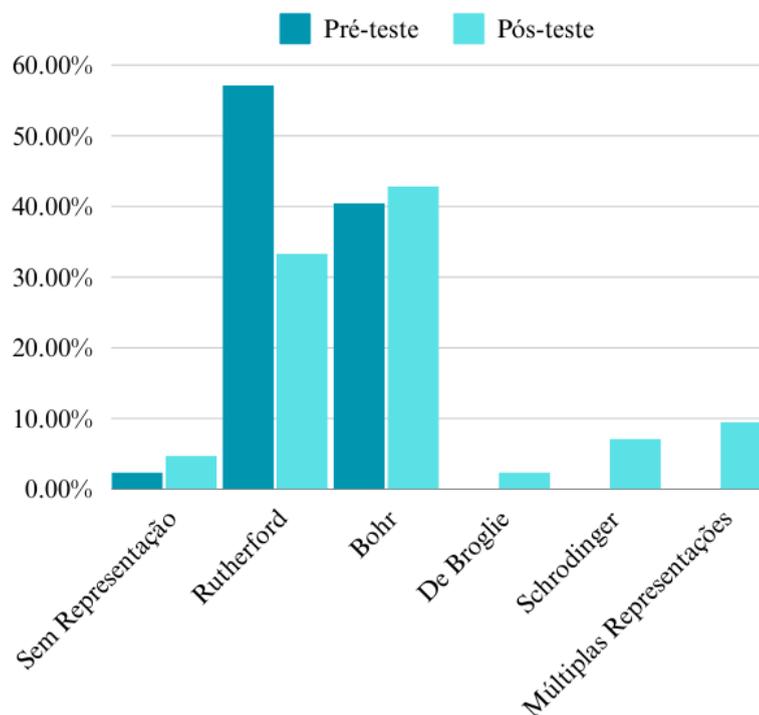
Para entender o potencial de exploração dos objetos de visualização da simulação, as questões foram analisadas primeiramente em isolado (Seção 5.1) avaliando os resultados diretos da questão aplicada antes e após a intervenção de ensino, para entender as mudanças apresentadas nas externalizações dos estudantes. Em seguida foi analisada a coerência representacional dos estudantes diante de um bloco de questões que exigiam uma compreensão correta para

embasar o acerto das questões. Por último, um ponto importante para entender a relevância da exploração dos dois canais (verbal e não-verbal) pode ser observado através da coerência representacional das respostas dadas a algumas questões das atividades pré e pós exploração de ensino.

5.1 A VISUALIZAÇÃO INTERPRETATIVA DOS ESTUDANTES

Os resultados encontrados inicialmente, ou seja, antes da exploração da simulação favorecendo os objetos de visualização durante a abordagem, estavam em acordo com a literatura. As externalizações apresentadas foram majoritariamente o modelo do átomo na perspectiva de Rutherford e Bohr (como apresentado anteriormente). E como esperado, após as discussões embasadas na simulação, os estudantes partiram de um diagrama único para múltiplos, no melhor resultado, ou passaram para um modelo mais recente, como um modelo quântico. Esse cenário pode ser analisado a partir da questão um (Q1), que questionava “*O que você entende por átomo? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta*”, das atividades um (A1) de pré-teste e quatro (A4) de pós-teste, aplicadas antes e após abordagem dos objetos de visualização através da simulação *Modelos para o átomo de Hidrogênio*.

Figura 32 - Diagrama do átomo apresentado pelos estudantes para a questão 1.



Fonte: Elaborada pela autora.

Através do da figura acima (Figura 32) podemos ver que nos resultados pré-teste, nenhum estudantes utilizou como base o modelo de De Broglie ou Schrödinger em seu diagrama, assim como para o caso da construção das múltiplas representações no qual todos os modelos fossem apresentados. Esse cenário mudou nos dados do pós-teste, que mostram que 2% passam a utilizar o modelos de De Broglie, e 7% o de Schrödinger. E ainda, 9% apresentam construções pictóricas de todos os modelos estudados, o que corrobora nossa hipótese de que a abordagem realizada através dos objetos de visualização presentes na simulação Modelos para o átomo de Hidrogênio favorecendo o canal verbal e não-verbal, levaria a uma mudança para múltiplas representações.

Inicialmente 57% dos participantes utilizaram o modelo de Rutherford, passando para um total de 33% no pós-teste, o que indica que os estudantes passaram para modelos mais recentes, que oferecem uma estrutura base para a explanação dos dados experimentais da espectroscopia estudada.

Com relação ao átomo de Bohr não houve uma porcentagem considerável na sua escolha para apresentação dos diagramas, passando de 40% para 42%. O mesmo pode ser observado quando analisado a não apresentação de desenho,

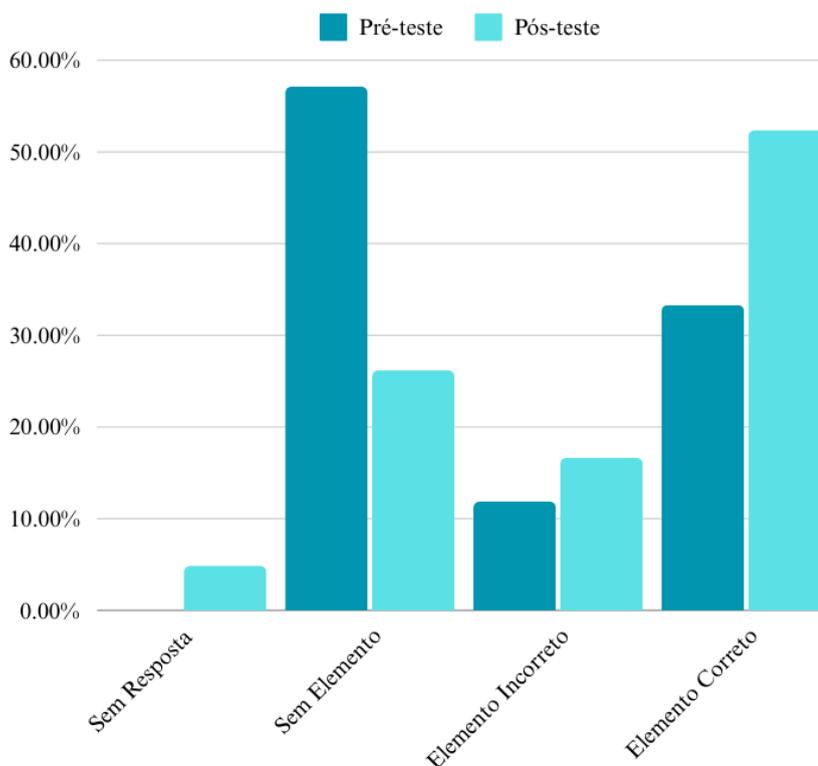
apesar do enunciado da questão solicitar esse formato de resposta (2% para 4% dos participantes), que apresentou um crescimento inesperado.

No entanto, o ponto que se destaca é que houve estudantes que modificaram suas externalizações, e em alguns casos demonstraram conhecer todos os modelos discutidos em sala, e compreendem que todos são considerados modelos que podem ser utilizados para expressar o átomo. É relevante salientar que neste primeiro momento optou-se olhar apenas para o diagrama dos estudantes, e que posteriormente serão analisadas as informações textuais juntamente com os diagramas para investigação da coerência interna nas respostas.

Para definir a categorização de qual modelo atômico é percebido na representação pictórica construída pelo estudante em seu diagrama, as definições estão de acordo com os encontrados na literatura, e as características que definem cada modelo.

A questão dois (Q2) do pré-teste e pós-teste levantou o seguinte questionamento: *“O átomo que você apresentou na questão anterior, corresponde à representação de algum elemento químico? Caso sim, qual elemento?”*. De acordo com a literatura (Capítulo 3) transpor o modelo do átomo para representar ou associar a compreensão de elementos e substâncias é um problema intrínseco ao conteúdo (carga intrínseca) no ensino de química, e pode estar associado ao fato de ser um conteúdo abordado em isolado sem contextualizar com as predições que cada modelo permite. Considerando essa perspectiva, o fato de a simulação utilizar como base sempre o modelo para o elemento Hidrogênio, tem-se a expectativa de que os estudantes sejam capazes de transitar de diagramas de elementos indefinidos para existentes e conhecidos, e ainda, de respostas equivocadas para corretas cientificamente (Figura 33).

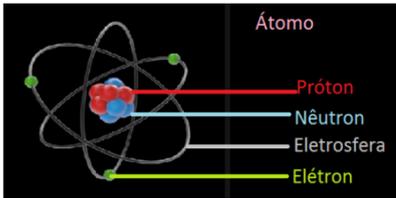
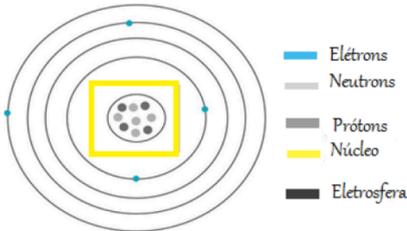
Figura 33 - Resposta apresentada pelos estudantes à questão 2 em coerência com o diagrama do átomo da questão 1.



Fonte: Elaborada pela autora.

Como exposto acima, a questão dois dos testes não solicitava diagrama, apenas resposta textual, porém a resposta estava associada ao diagrama construído na questão um. A associação correta a um elemento químico, ou seja, a relação correta entre o modelo expressado para o átomo e o elemento químico apresentou uma mudança de 33% no pré-teste para 52% no pós-teste. Os estudantes passaram a conseguir construir a estrutura correta do modelo, com o número das partículas subatômicas de acordo com o elemento químico associado ao diagrama. Esse resultado é um indicativo de que uma abordagem dos modelos, associados a um elemento químico e com auxílio de objetos de visualização, pode favorecer uma aprendizagem integrada para outros contextos. É possível construir um novo cenário diferente do explicitado na literatura. Outro fator que corrobora essa situação é a redução dos casos respondidos sem associar nenhum elemento (sem elemento), passando de um total de 57% dos participantes para 26%. De modo geral, os estudantes conseguiram partir de um contexto em que não associavam o modelo a um elemento químico para uma associação de elemento correto. Um exemplo dessa mudança pode ser visto na figura a seguir (Figura 34).

Figura 34 - Estudante que apresentou inicialmente resposta sem elemento e passou para uma representação de elemento correto.

	Pré-teste	Pós-teste
Pergunta 1		
Pergunta 2	<p>Não pertence a nenhum elemento, pois a primeira camada da eletrosfera não está em seu limite, logo a camada seguinte não poderia ser preenchida.</p>	<p>Sim, um átomo de Berílio.</p>

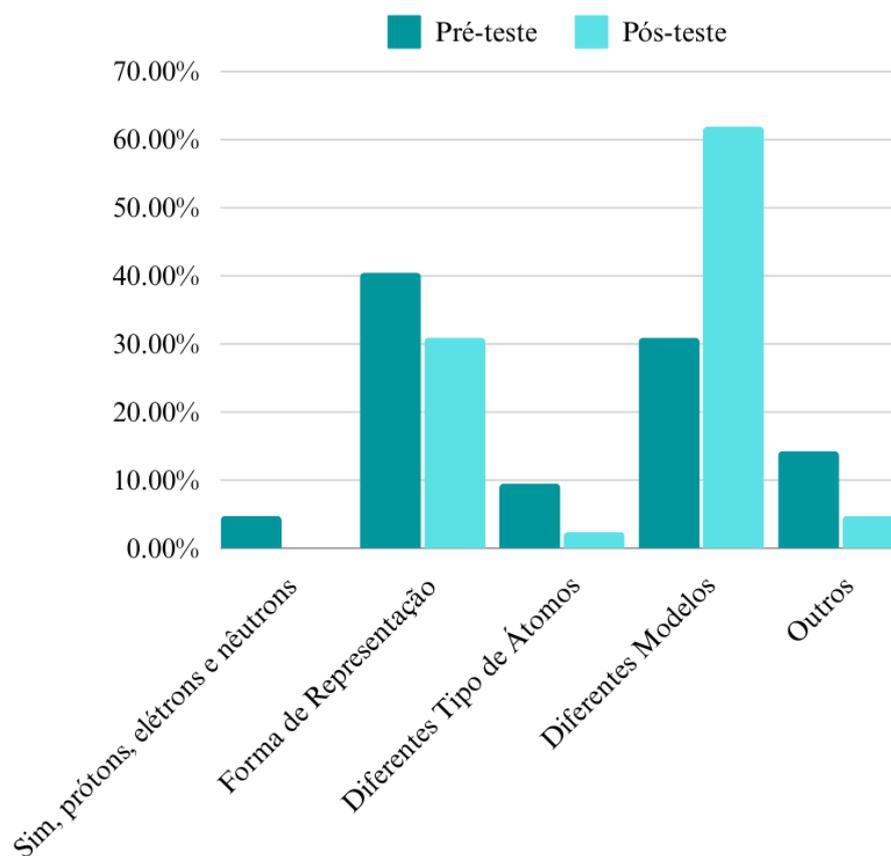
Fonte: Elaborada pela autora.

Com relação a associação entre diagrama apresentado a um elemento de forma incorreta passou de 11% para 16%, e apesar de os demais resultados terem sido bastante positivos, é importante destacar que algumas concepções equivocadas foram mantidas pelos estudantes. O que corrobora as pesquisas da área, no que diz respeito à dissociação na concepção dos estudantes do modelo aplicado em outros contextos. Houve confusões entre os conceitos de elemento e substância como no caso do estudantes E7: “*Sim, uma substância simples*”, sua afirmação demonstra a falta de compreensão sobre a relação entre modelos, elementos, moléculas e substâncias.

Um dos pontos relevantes e que se pode ver nas respostas dos estudantes à questão um do pré-teste e pós-teste, é que a compreensão sobre o modelo para o átomo está ainda fortemente associada ao modelo de Bohr e Rutherford, como podemos ver na figura 32 discutida anteriormente. Considerando esse cenário que já estava descrito na literatura da área, e que essa concepção deve se apresentar em outros momentos e contextos no qual os estudantes são questionados, foi elaborada mais uma questão para o pós teste. Dessa forma foi perguntado aos participantes: “*Você considera que há apenas uma forma de representar o átomo? Justifique sua resposta*”, no pré e pós-teste. Por se tratar de uma pergunta aberta, as respostas foram lidas na íntegra, e a posteriori foram definidas categorias para suas

classificações. Os resultados encontrados na pesquisa para essa pergunta estão apresentados na figura a seguir (Figura 35) e são discutidos na sequência.

Figura 35 - Resposta dos estudantes se há apenas uma forma para representar o átomo.



Fonte: Elaborada pela autora.

Inicialmente 5% dos estudantes afirmaram que próton, elétrons e nêutrons seria uma outra forma de expressar o átomo, o que após a abordagem não apareceu mais como resposta. Outra resposta que apareceu nos resultados foi a afirmação 'diferente tipo de átomo', que não deixava claro o que seriam esses tipos de átomos destacados pelos estudantes. No pré-teste 10% dos participantes apresentavam essa afirmação, no pós-teste apenas 2% dos estudantes utilizaram essa resposta.

Os resultados para a categoria diferentes tipos de modelos foi explicitado por 31% dos participantes no pré-teste, e dobrou (62%) no pós-teste. Esse é mais um indicativo de que os estudantes passam a compreender a coexistência de diferentes modelos, ou seja, a concepção da existência de múltiplas representações para o conceito. Outra categoria que se destaca nos resultados é a forma de

representação, no qual os estudantes incluíam como opções para expressar os modelos atômicos o uso de símbolos, cores, gráficos, números atômicos e diferentes elementos químicos. Essa concepção estava presente inicialmente em 41% das respostas dos participantes, e passou para 31% no pós-teste.

A opção outros abarcou respostas que não estavam enquadradas nas demais categorias, e apresentavam ideias e afirmações muito distintas para construção de uma nova categoria. Alguns exemplos de respostas foram '*os átomos nunca foram vistos*' e que há '*uma maneira mais aceita*'. Essas duas expressões utilizadas reforçam o que está nos estudos da área, em que os estudantes possuem a concepção de que o átomo pode ser realmente visto, e que há um abandono de modelos anteriores para o uso de modelos mais recentes (ver seção 3.3). Essa categoria contou inicialmente com 14% das respostas, passando para apenas 5%, o que mostra uma diferença no cenário pós-teste. Os dois estudantes que fizeram as afirmações acima abordaram essa concepção no pós-teste, o que aponta para a possibilidade de superar esses obstáculos discutidos nas pesquisas, quando se realiza uma abordagem destacando que o que são modelos e como eles são construídos ao longo da história.

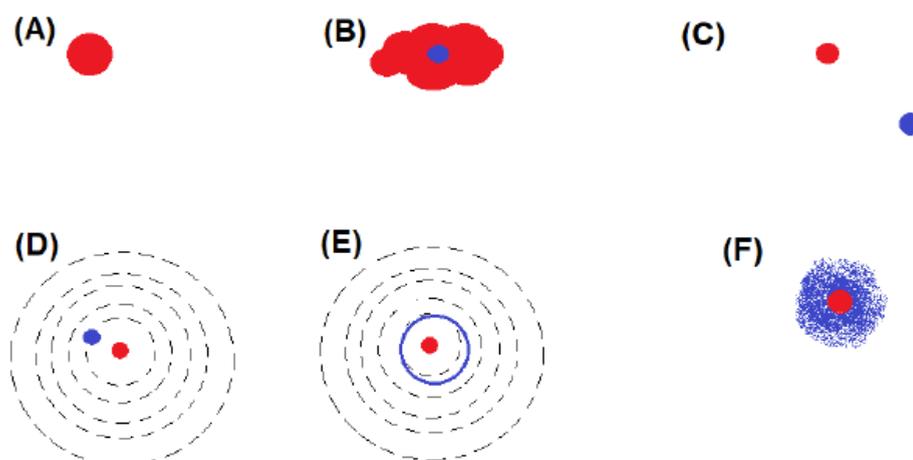
De modo geral, a mudança considerável para a concepção de que há diferentes modelos para o átomo mostra um bom indicativo de que após a abordagem a coexistência dos modelos se tornou mais clara aos estudantes.

Ainda nesse contexto, uma questão foi incluída no pós-teste e buscou saber quais, dos diagramas apresentados aos estudantes, eles escolheriam para representar o átomo para o elemento de Hidrogênio. A figura a seguir (Figura 36) mostra a estrutura da questão, e as opções de diagrama que foram oferecidos aos estudantes. O objetivo foi saber se os mesmos conseguiram compreender que todas as expressões visuais estavam corretas de acordo com as diferentes representações construídas ao longo da história para o átomo.

As imagens criadas mantiveram as cores utilizadas na simulação, com o objetivo de permanecer com o objeto analogia igual ao utilizado na abordagem do conceito.

Figura 36 - Questão quatro aplicada apenas no pós-teste.

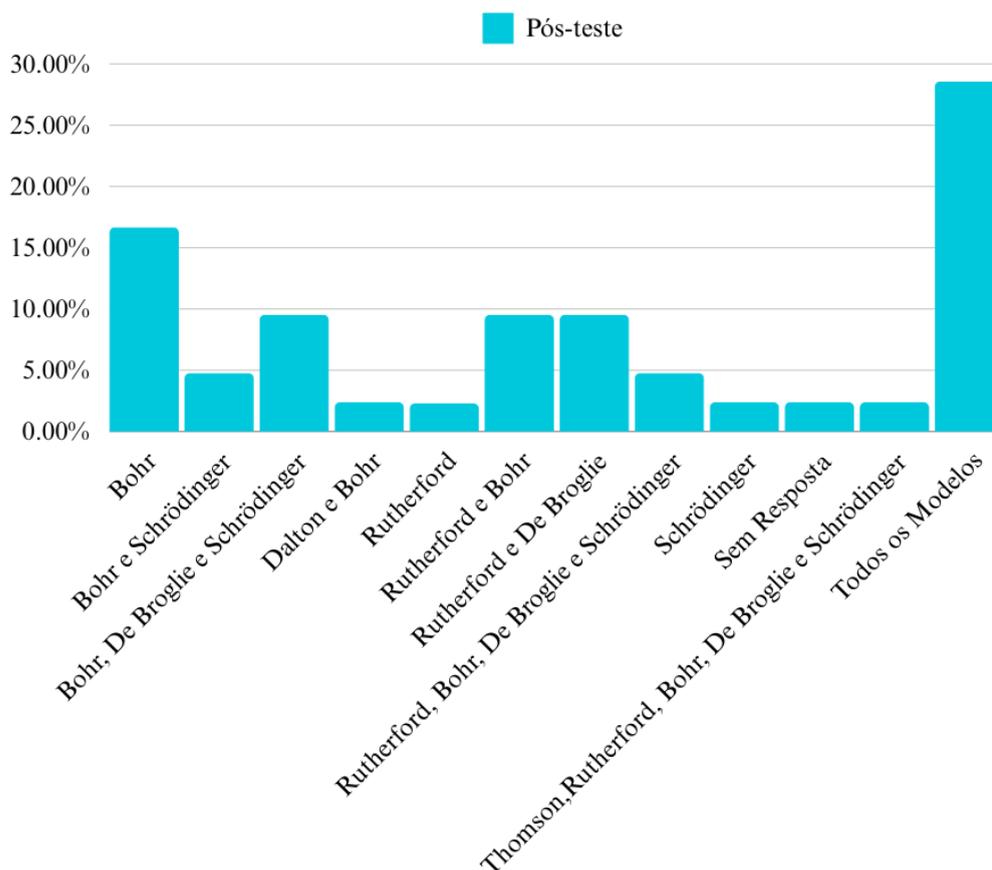
4) Na imagem abaixo escolha a ou as representações que você acredita que podem simbolizar e caracterizar o átomo de Hidrogênio, para isso basta responder informando a(s) letra(s) selecionadas por você. Justifique o motivo da(s) sua(s) escolha(s).



Legenda: em vermelho a representação da região positiva do átomo (próton); em azul as regiões negativas (elétrons); as linhas tracejadas nas figuras (D) e (E) representam os níveis de energia.

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 37 - Resultados obtidos para a questão quatro do pós-teste.



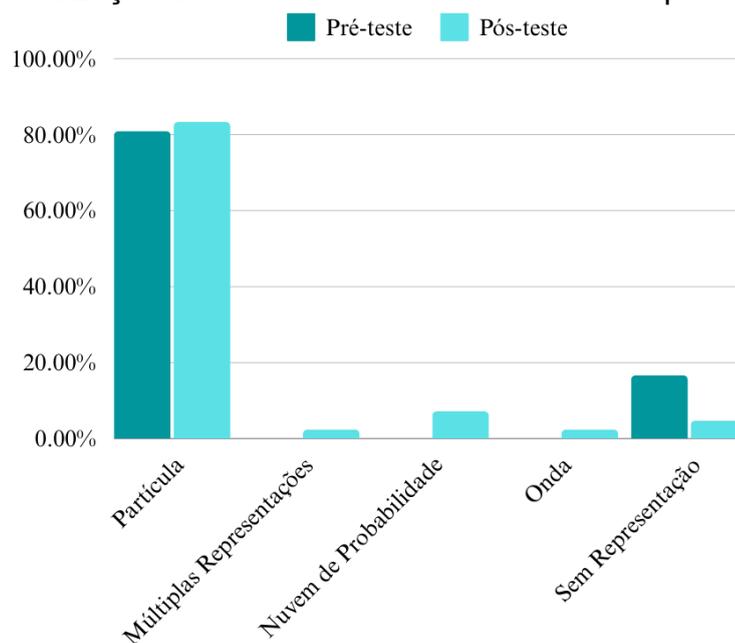
Fonte: Elaborada pela autora.

Entre os resultados encontrados para a questão, 16% dos estudantes escolheu apenas o modelo de Bohr como correto entre as opções para representar o elemento Hidrogênio, que está entre um dos mais difundidos por televisão e livros, de acordo com a literatura. Enquanto 28% apontaram todos os modelos como expressões corretas. Esse resultado era o esperado na presente pesquisa. Apesar de não ser a escolha da maioria dos participantes, a porcentagem encontrada é um indicativo de que é possível transformar o cenário encontrado na literatura, através de uma abordagem que explore os objetos de visualização.

Para uma discussão mais ampla e com mais aspectos, em uma replicação da pesquisa, a pergunta deveria ser incluída também no pré-teste.

Outro ponto analisado, e que é de extrema importância para compreender a espectroscopia e também os modelos atômicos quânticos, é a visualização interpretativa que os estudantes possuem sobre o elétron. A simulação destaca o comportamento do elétron e a interação do mesmo com a luz (fóton) por ser um ponto crucial de compreensão da espectroscopia e que influenciou diretamente nos modelos recentes. Assim, uma das questões lançadas no pré e pós-teste foi: *“O que você entende por elétron? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta.”*

Figura 38 - Externalização dos estudantes sobre o elétron no pré-teste e pós-teste..



Fonte: Elaborada pela autora.

O primeiro resultado que é possível perceber através dos resultados apresentados na figura acima (Figura 38), os estudantes que não expressaram um diagrama para o elétron passou de 16% no pré-teste, para 4% no pós-teste. É importante destacar esse resultado, pois está de acordo com a perspectiva da pesquisa, de que quando o estudante não possui uma construção imagética sobre o tema, quando é apresentado a ele uma expressão do conceito, este pode tomá-la emprestada para sua estrutura cognitiva. A exploração dos objetos de visualização é importante para que seja desenvolvida a habilidade de visualizar.

A maioria dos participantes manteve a concepção de partícula. Em contrapartida, os conceitos utilizados em modelos mais recentes do átomo não apareceram no pré-teste, e após a abordagem metodológica da pesquisa aparecem nas respostas dos estudantes. Sendo 7% para nuvem de probabilidade, e 2% para definição de onda. Isso indica que é possível explorar conceitos quânticos do modelo atômico com estudantes da primeira série do ensino médio, principalmente no que tange discutir o comportamento do elétron no átomo.

Outro resultado relevante é a apresentação de múltiplas representações para o elétron, que saiu de 0% para 2%, que é um indicativo para a importância de discutir todos os modelos e suas características explorando-os visualmente através dos objetos de visualização, que podem oferecer uma base para os estudantes construírem suas próprias visualizações interpretativas.

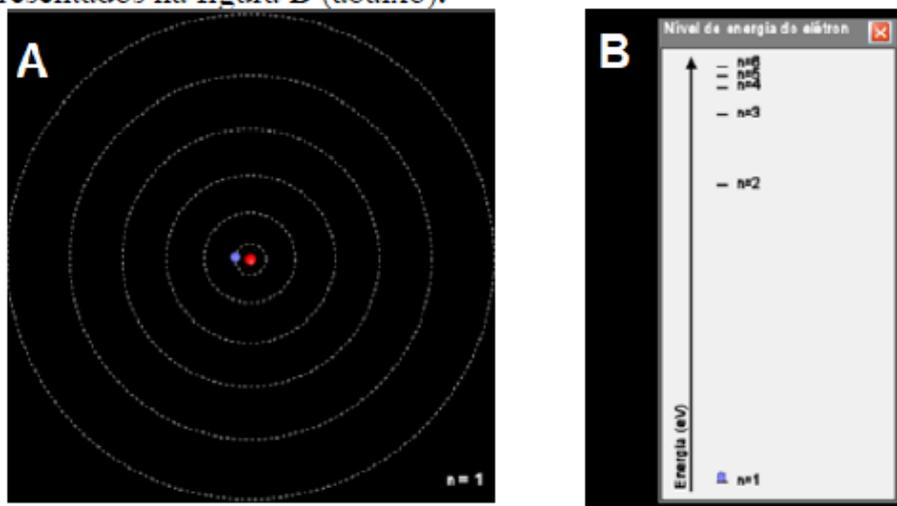
Para uma integrar os dados para a análise, entres o pré-teste (atividade 1) e o pós-teste (atividade 4), foram aplicadas outras atividades com o intuito de encontrar um espectro mais amplo. A atividade dois (A2) teve como objetivo buscar entender se os estudantes eram capazes de reconhecer os objetos presentes na imagem estática da simulação e relacioná-los com o diagrama de níveis de energia de maneira correta.

As imagens apresentadas na atividade foram extraídas da simulação e chamadas de A e B, sendo para a questão um da atividade o modelo de Bohr e o diagrama e para a questão dois, o modelo de Schrödinger e seu diagrama de níveis de energia. A figura a seguir mostra a estrutura da questão um da atividade dois, e é semelhante a questão dois, que manteve o formato da pergunta para o modelo atômico de Schrödinger.

A atividade dois foi aplicada em apenas um momento durante a realização da pesquisa, contou com apenas duas perguntas, e foi realizada como forma de complementar alguns aspectos para os resultados encontrados na pesquisa.

Figura 39 - Questão um da atividade dois.

- 1) Identifique o modelo atômico representado na figura A (abaixo) e, em seguida, estabeleça e explique a relação entre a mesma e os níveis de energia apresentados na figura B (abaixo).



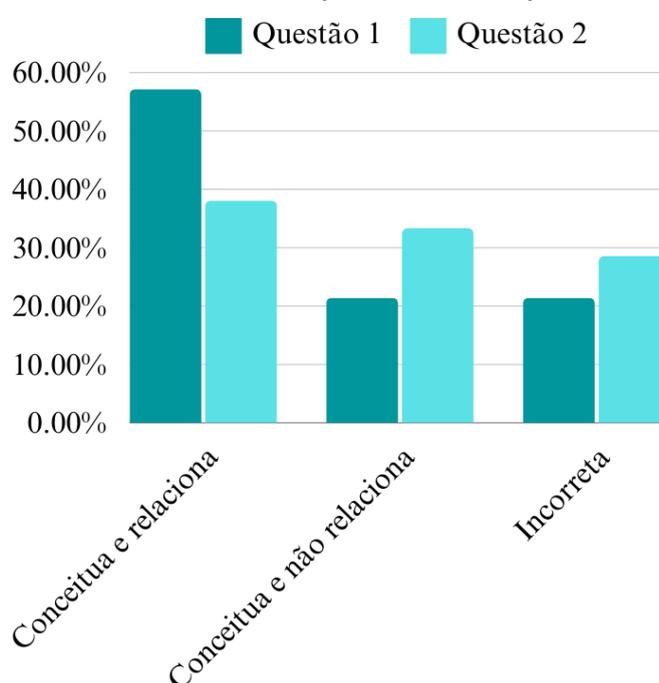
Fonte: Elaborada pela autora.

O intuito da atividade foi observar se os estudantes conseguiram integrar os objetos de visualização presentes na simulação e que foram explorados durante a discussão do conteúdo abordado. A relação solicitada nas duas perguntas da atividade foi exposta durante a aula síncrona, destacando as relações dos objetos de forma verbal. A abordagem foi pensada em favorecer o processamento das informações através do canal verbal (fala) e não-verbal (objetos de visualização da simulação).

A figura abaixo mostra os resultados encontrados para as duas questões. As respostas foram lidas na íntegra e classificadas em: (i) conceitua a explicação e relaciona as imagens corretamente; (ii) conceitua a explicação corretamente e relaciona as imagens de forma incorreta; e (iii) conceitua e relaciona as imagens de forma incorreta. Para apresentação dos resultados na imagem a seguir, a identificação da classificação ficou: conceitua e relaciona, conceitua e não relaciona, incorreta, de acordo com a definição de classificação explanada acima.

Mais da metade dos participantes se saíram bem em relacionar os objetos de visualização corretamente (Figura 40) para as duas questões, sendo que 57% dos participantes acertaram quanto à explicação textual que apresentava a relação das duas imagens para o átomo de Bohr. Para o modelo de Schrödinger 38% participantes acertaram a resposta. Com base nos resultados, os estudantes demonstram maior facilidade em compreender os saltos do elétron nos níveis de energia através do modelo de Bohr, do que através do modelo de Schrödinger.

Figura 40 - Resultados encontrados para as duas questões da atividade dois.



Fonte: Elaborada pela autora.

Com relação às respostas incorretas, 21% dos estudantes não conseguiram expressar uma explicação correta para a pergunta associada ao modelo de Bohr, enquanto 28% para o modelo de Schrödinger. O erro ocorreu mais relacionado ao modelo de quântico mais recente, o que pode estar associado à representação visual do elétron no modelo. Por se tratar de orbitais e regiões de probabilidade, a construção visual do modelo impacta na visualização da possibilidade que os elétrons possuem de mudar de orbital, já que ele não fica visível igual no modelo de Bohr. Esse cenário é oposto ao se tratar do modelo de Bohr, no qual o elétron é uma partícula e sua posição é bem definida.

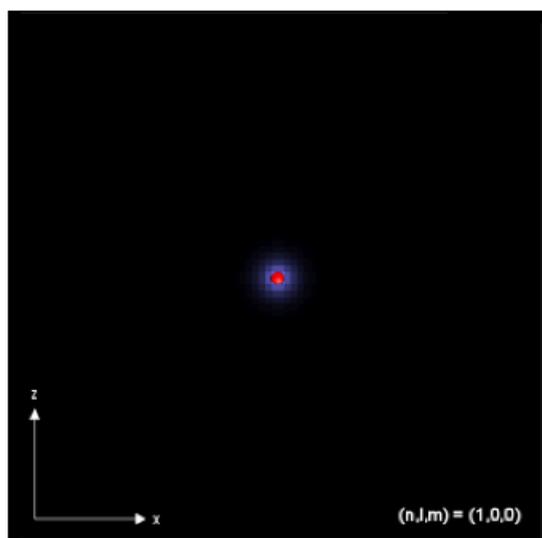
Um ponto que pode ser desfavorável na simulação é que a existência representacional de seis camadas leva os estudantes a acharem que esse é o limite máximo de camadas para os modelos, sendo a sexta camada identificada como a de valência. Outro ponto que ficou evidente nas respostas dos estudantes é que a numeração dos níveis de energia os levou a pensarem que esta era a quantidade de elétrons e/ou o valor energético permitido na camada.

Além da atividade dois, foi realizada também a atividade três, que consistia em um formulário com dez questões de múltipla escolha. O formulário foi construído no Google forms, o que ofereceu aos estudantes feedback imediato quanto ao número de acertos, a explicação da resposta correta ou incorreta. Algumas questões contavam com imagens estáticas da simulação, ao qual os estudantes tinham de utilizar como base para responder a pergunta. O formulário foi aplicado em um único momento da pesquisa, e teve como objetivo complementar os dados e, conseqüentemente, as análises e indicadores.

As primeiras questões a serem avaliadas foram a três e nove, que apresentavam o objeto de visualização pictórico da simulação referente ao modelo de Schrödinger e Bohr, e pediam para que os estudantes identificassem qual o modelo que estava sendo expressado na imagem estática da simulação. A figura a seguir mostra como foi estruturada para a questão três (Figura 41) que abordou o modelo de Schrödinger. O mesmo formato de questão foi mantido para o modelo de Bohr, substituindo apenas a imagem utilizada como base para que os estudantes o identificassem.

Figura 41 - Questão três da atividade três envolvendo o modelo de Schrödinger.

3 - A figura abaixo, de acordo com a simulação 'Modelos do átomo de Hidrogênio', representa o modelo atômico descrito por: * 1 ponto

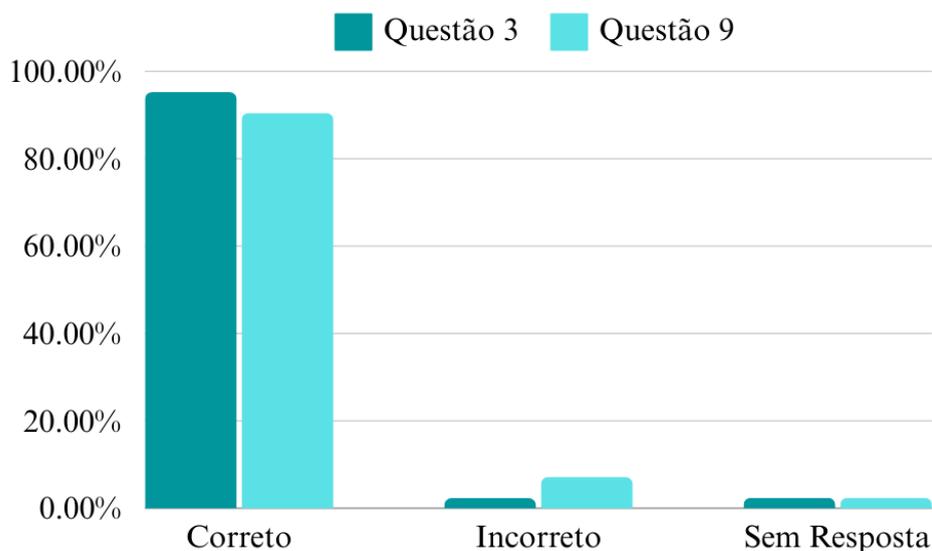


- Niels Bohr.
- Schrodinger.
- De Broglie.

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados obtidos nas duas questões foram muito bons, 95% dos estudantes conseguiram identificar corretamente o modelo de Schrödinger na imagem extraída da simulação, e 90% para o modelo de Bohr. Oferecer objetos visuais no processo inicial do estudo sobre o conteúdo é uma estratégia importante para a base da construção de uma visualização interpretativa.

Figura 42 - Identificação dos modelos de Schrödinger e Bohr através do objeto de visualização pictórico da simulação.



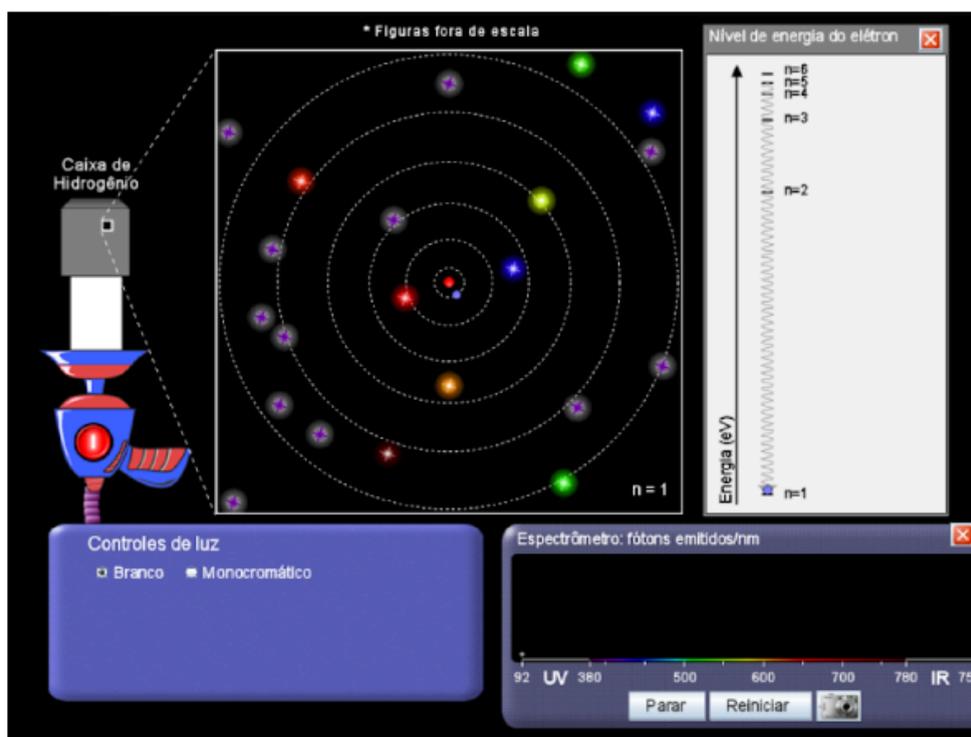
Fonte: Elaborada pela autora.

Com relação às questões quatro e oito (atividade três), apresentavam uma imagem de captura da simulação em que estava ocorrendo a representação da explicação teórica da espectroscopia no modelo de Bohr e Schrödinger, respectivamente, a figura abaixo mostra a estrutura da questão que utilizou imagem estática da simulação.

A questão apresentava uma afirmação explicativa que deveria ser julgada como verdadeira ou falsa pelo estudante, a partir da análise da imagem presente na questão. O objetivo foi saber se os estudantes conseguiam interpretar a interação entre os objetos de visualização que estavam ocorrendo na imagem estática, e relacioná-los com os conceitos e previsões teóricas. É importante ressaltar que no momento da aplicação da atividade, os estudantes já tinham passado por encontros síncronos que abordaram essa configuração da simulação (não-verbal), juntamente com as explicações (verbal). Os dados encontrados foram classificados como correta ou incorreta (Figura 44).

Figura 43 - Questão quatro da atividade três envolvendo o modelo de Bohr.

4 - "A imagem abaixo mostra o elétron 'saindo' da camada $n=6$ para a camada $n=1$, após liberar um fóton no comprimento de onda do ultravioleta". Julgue essa afirmação como verdadeira ou falsa: * 1 ponto



- Verdadeira.
- Falsa.

Fonte: Elaborada pela autora.

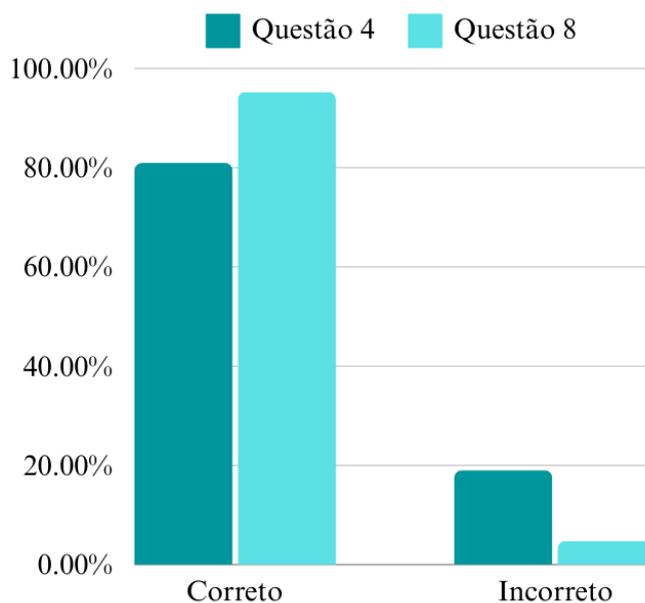
De maneira geral, os estudantes conseguiram responder corretamente às duas perguntas, totalizando 80% de respostas corretas para o caso do modelo de Bohr, e 95% para o de Schrödinger. As respostas incorretas foram de 19% e 4%, respectivamente (Figura 44).

A identificação correta de objetos de visualização indica a presença de uma visualização interpretativa coerente e correta cientificamente, armazenada na arquitetura cognitiva, especificamente na memória de longo prazo, que foi resgatada para a memória de trabalho no momento da resolução de tarefas.

Para além disso, esse achado se torna mais um indicador dos benefícios em favorecer os dois canais de processamento e codificação da informação pelos dois

canais (verbal e não-verbal), como feito na abordagem aqui proposta, considerando que o resultado aponta para o desenvolvimento da visualização interpretativa.

Figura 44 - Identificação do tipo de salto do elétron no modelo de Bohr e Schrödinger.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para finalizar a fase um das análises, foi avaliada a questão dez do pós-teste (atividade 4). Essa questão não foi aplicada no pré-teste, pois envolve a ação dos estudantes utilizando a simulação de acordo com as orientações. Os estudantes tiveram de fazer uso da simulação com base nas instruções da pergunta, e através da observação eles tinham de apresentar um modelo para explicar o que estava ocorrendo na tela. Nesse caso, a expectativa era que os estudantes conseguissem escolher um modelo que fosse capaz de oferecer explicações sobre as interações do elétron com o fóton que estava ocorrendo no átomo de Hidrogênio, que na simulação estava representada como uma caixa contendo gás Hidrogênio.

Para expressar sua resposta, foi solicitado aos estudantes que apresentassem diagrama/desenho do modelo e de sua explicação, assim como descrição textual, e um registro estático da tela simulação para conferir se as configurações haviam sido seguidas. A figura abaixo mostra a questão aplicada (Figura 45).

Figura 45 - Identificação da espectroscopia no modelo de Bohr e Schrödinger.

10) Agora utilizando a simulação do PhET, siga as instruções para responder à pergunta a seguir.

- i) Abra a simulação PhET, selecione a função **Experimento**.
- ii) Desative a função *play*.
- iii) Selecione a opção monocromático.
- iv) Arraste a seta cinza até que o comprimento de onda esteja ajustado em **103nm**.
- v) Selecione a opção **mostrar espectrômetro**.
- vi) Ative o canhão de emissão de luz.
- vii) Ative a função *play* e observe a simulação por no mínimo três minutos.
- viii) Desative a função *play* e faça uma captura de tela.

Com base na sua observação, apresente um modelo para explicar o que está acontecendo dentro da caixa que contém o gás de Hidrogênio. Para responder utilize texto e desenho/diagrama. Inclua também um *printscreen* da tela da simulação.

Fonte: Elaborada pela autora.

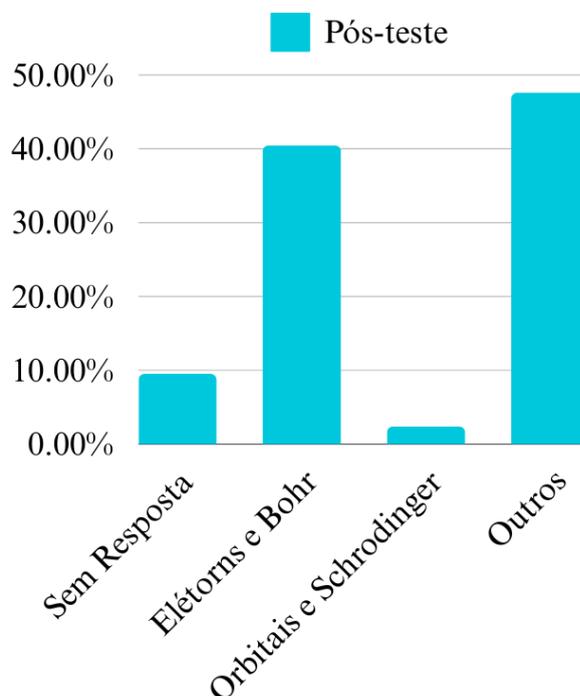
Os dados coletados nessa questão, foram lidos na íntegra e classificados como: (i) sem resposta, para as em branco,; (ii) elétron e Bohr, para as explicações sobre o salto do elétron que interage com o fóton, de acordo com o modelo de Bohr; (iii) orbitais e Schrödinger, para as explicações utilizando os elétrons em sua nuvem de probabilidade que ao interagir com o fóton modificam seu formato, ou seja, orbital de acordo com o modelo de Schrödinger; (iv) outros, que enquadraram as respostas que não apresentavam coerência conceitual, ou utilizaram o modelo de Dalton.

A classificação Outros foi a que apresentou maior número de respostas, com um total de 47%. Em seguida a categoria Elétrons e Bohr com 40% das respostas. Esse resultado é animador, considerando que os estudantes conseguiram construir uma explicação coerente, utilizando uma expressão visual com base no modelo de Bohr, explicando a interação do elétron com o fóton, e os resultados observados no espectrômetro presente na simulação.

Esse indicador direciona para a concepção de que nos casos em que oferecemos uma representação visual ao estudante, esse pode utilizá-la como base para compreender e explicar situações que ele observa. E para além disso, ao utilizar as duas, o texto e o diagrama, para construção da sua resposta, e que nesse caso ambas as representações estejam corretas, isso demonstra um grau de

habilidade visual. Ou seja, o estudante compreende os objetos de visualização e é capaz de aplicar em resoluções de problemas, transitando entre esses formatos diferentes de objetos.

Figura 46 - Identificação da espectroscopia no modelo de Bohr e Schrödinger.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para melhores esclarecimentos com relação à questão dez aplicada no pós-teste, seria interessante ter a oportunidade de selecionar alguns estudantes para entrevista para questionar algumas respostas que ficaram confusas ou incompletas. Outra melhoria que poderia ser realizada seria pedir aos estudantes que gravassem a tela da simulação definida com os parâmetros, e solicitar que eles narrassem a explicação sobre o que está sendo visto na tela. Essa ação ajudaria a guiar os estudantes durante uma reflexão, e para isso teriam de realizar uma análise pautada em muitas observações para que pudessem explicar a espectroscopia.

As questões analisadas individualmente direcionam para um favorecimento positivo das experiências visuais dos estudantes a partir dos objetos de visualização da simulação. Alguns resultados esperados foram atingidos nos dados observados após a abordagem, como: a mudança das respostas dos estudantes para múltiplas representações para o modelo do átomo; a relação correta entre a informação do modelo atômico apresentado e o elemento químico; o reconhecimento dos modelos

através dos objetos de visualização; e as múltiplas representações para o elétron, como pontos mais importantes entre os encontrados, e que vão ao encontro da hipótese da presente pesquisa.

Entretanto, quando pensamos em evolução visual e conceitual, considerando que os objetos não são dissociados do contexto conceitual de validade, é preciso analisar se há uma evolução e ainda uma coerência representacional dos estudantes diante das diferentes questões. Acertos pontuais podem estar associados apenas a memorização, por exemplo.

Primeiro é importante direcionar o olhar para a evolução visual, principalmente com relação à percepção do modelo em si, que irá interferir conceitualmente nas respostas das demais questões aplicadas. Este ponto será analisado, apresentado e discutido na próxima seção (seção 5.2).

5.2 A EVOLUÇÃO REPRESENTACIONAL DA VISUALIZAÇÃO INTERPRETATIVA DOS ESTUDANTES

Nesta fase de análise (fase II) foram definidos blocos de pesquisa para analisar a evolução com base em mais de uma pergunta realizada no pré-teste (atividade 1) e pós-teste (atividade 2). Para agrupar as questões, foram selecionadas perguntas em que as respostas seriam complementares. Ou seja, na questão um é questionado o que o estudante entende por átomo, e na quinta questão, o que o estudante entende por elétron. Nesse caso, as questões são complementares, se há divergência entre as respostas e as expressões visuais, este é um indicativo de que pode haver uma falta de compreensão, apontando uma baixa, ou média evolução conceitual e visual. Ao decorrer da seção, antes de cada análise, são apresentadas as questões que compõem o bloco, juntamente com o enunciado da mesma.

Outro exemplo, são as questões um e dois do pré e pós-teste, no qual o ponto relacionado a modelos atômicos, enquanto uma está voltada para a concepção do modelo atômico, a segunda questão pergunta se o modelo apresentado na questão anterior (questão um) está relacionado a algum elemento químico, e quando as respostas combinadas passam de um cenário de pouca ou baixa compreensão para um com maior entendimento, isso evidencia uma evolução com relação a visualização interpretativa do estudante.

Com relação ao filtro utilizado para selecionar os dados em cada etapa, foram balizados através da questão um, que perguntava: *O que você entende por átomo? Utilize texto e desenho/diagrama para explicar sua resposta.* A decisão foi tomada considerando três aspectos: (i) este é o conceito principal da pesquisa e da simulação utilizada; (ii) é a partir da concepção de modelo atômico que as demais perguntas são respondidas, formando as ligações entre as questões; e (iii) o objetivo da pesquisa é alcançar evidências que corroborem a hipótese de que a exploração dos objetos de visualização levará a um cenário em que os estudantes compreendam que há múltiplas representações para o modelo atômico, coexistente e válidos.

Assim, para a primeira busca, foi aplicado o filtro entre as respostas dos estudantes que expressaram uma externalização baseada no modelo de Rutherford e Bohr, no pré-teste e no pós-teste. Essa primeira escolha, está pautada nos resultados apresentados na literatura que apontam que estes são os modelos mais difundidos e utilizados entre os estudantes. Considerando que o objetivo da pesquisa é levar os estudantes ao reconhecimento das múltiplas representações, a manutenção de um único modelo, sendo ele o mais comum entre os aprendizes, é um indicador de ausência de evolução com relação a sua concepção de modelo atômico.

Outro ponto que pode ser destacado é que se há uma manutenção na representação dos diagramas, considerando que estes são reflexo dos esquemas presentes em suas arquiteturas cognitivas, pode-se estabelecer a relação entre a falta de integração de novas informações sobre o conceito com a manutenção da resposta apresentada no teste pré e pós a abordagem da simulação.

Para avaliar a evolução de fato, é preciso analisar as demais questões do bloco, assim é possível perceber se as demais questões também se mantêm iguais, por exemplo, indicando a possibilidade de que as novas informações não foram codificadas, interpretadas e conectadas a esquemas na arquitetura cognitiva.

O segundo filtro utilizado foi com relação a mudança de uma resposta sem construção pictórica para o modelo clássico de Rutherford, o que deverá apresentar um cenário diferente no pós-teste, considerando que se há a concepção de um modelo, o estudante terá mais recursos em sua memória de longo prazo para utilizar para a resolução de tarefas em suas memória de curto prazo. E neste caso, a

expectativa é que o estudante também externalize respostas diferentes para as demais perguntas do bloco de questões analisadas.

Para o terceiro filtro foi buscada a mudança de um modelo clássico, como o de Rutherford, para um modelo quântico (Bohr, De Broglie, Schrödinger). E para o último caso, foi analisado os estudantes que apresentavam um único modelo ou nenhum para o átomo, no pré-teste, e que passaram a apresentar múltiplas representações. Os quatro filtros desenhados foram aplicados ao primeiro bloco de perguntas. Os resultados são apresentados e discutidos na sequência. Para não identificar os participantes, os estudantes foram nomeados com a letra E e o número, assim cada estudante recebeu o seu código e será apresentado assim nas discussões que se seguem.

A evolução representacional pode ser avaliada a partir dos diagramas construídos pelos estudantes com relação ao modelo atômico, e sua compreensão em relacionas com elementos químicos, dessa forma as questões utilizadas para o primeiro bloco de análise foram: questão 1 (Q1): *O que você entende por átomo? Utilize texto e desenho/diagrama para explicar sua resposta*, questão 2 (Q2): *“O átomo que você apresentou na questão anterior, corresponde a algum elemento químico? Caso sim, qual elemento?”*, e questão 5 e 6 (Q5 e Q6): *“O que você entende por elétron? Utilize texto e desenho/diagrama para explicar sua resposta”*, para o pré-teste e o pós-teste, respectivamente. Sendo o pré-teste (atividade 1) aplicado anteriormente a exploração dos objetos de visualização da simulação. E o pós-teste, ao final de toda a abordagem de ensino realizada. A partir da aplicação dos filtros e da análise das questões em associados, foi possível definir a posteriori quatro categorias indicativas de evolução, sendo: ausência, baixa, média e alta evolução representacional da visualização interpretativa.

No caso da **ausência de evolução representacional**, temos a manutenção da percepção dos estudantes sobre o que expressam como modelo atômico (filtro aplicado inicialmente). Ao observar as demais respostas às questões do bloco de perguntas, percebe-se que há também, majoritariamente, a manutenção da expressão visual e textual do elétron e sua conexão representacional com elementos químicos (Quadro 5).

Quadro 5 - Estudantes que mantiveram o diagrama do modelo atômico com base em Rutherford.

E	Pré-Teste			Pós-Teste		
	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron
E2	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Rutherford	Elemento Incorreto	Partícula
E7	Rutherford	Elemento Incorreto	Partícula	Rutherford	Elemento Incorreto	Partícula
E10	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Rutherford	Sem Elemento	Partícula
E12	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Rutherford	Sem Elemento	Partícula
E13	Rutherford	Sem Elemento	Não Representa	Rutherford	Sem Elemento	Não Representa
E14	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Rutherford	Sem Elemento	Partícula
E17	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Rutherford	Sem Elemento	Partícula
E28	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Rutherford	Elemento Correto	Partícula
E30	Rutherford	Elemento Correto	Não Representa	Rutherford	Elemento Correto	Não Representa
E34	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Rutherford	Sem Elemento	Partícula
E37	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Rutherford	Elemento Incorreto	Partícula
E42	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Rutherford	Sem Elemento	Partícula

Fonte: Elaborado pela autora.

Os estudantes apresentaram inicialmente o diagrama baseado no modelo de Rutherford, e 28,5% mantiveram após a exploração dos objetos de visualização da simulação, o que indica a ausência de evolução da visualização interpretativa com relação ao modelo de átomo. Para além dessa questão, é possível também destacar

representação sem conexão com elemento químico (questão 2) e o elétron aparecendo como partícula (questão 5 e 6).

As visualizações interpretativas externalizadas pelos estudantes como resposta às questões da atividade pré-teste e pós-teste evidenciam a manutenção de uma percepção de partícula, o que indica corrobora a ausência de evolução visual e conceitual. O resultado é coerente, se pensarmos que um estudante que possui a concepção de átomo apenas com base na representação do modelo de Rutherford, terá a ideia de que o elétron é uma partícula, como descrito no modelo. Para que haja uma mudança geral nas respostas, é preciso compreender que há outras maneiras de expressar o modelo atômico, que trazem outras percepções sobre como o elétron se comporta, por exemplo.

O cenário se repete para o caso em que os estudantes se baseiam no modelo de Bohr (Quadro 6), dos participantes 23,8% mantiveram sua concepção inicial de modelo.

Quadro 6 - Estudantes que apresentaram e mantém o diagrama do modelo atômico com base em Bohr.

(continua)

E	Pré-Teste			Pós-Teste		
	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron
E3	Bohr	Elemento Correto	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E5	Bohr	Elemento Correto	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E9	Bohr	Elemento Correto	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E16	Bohr	Elemento Correto	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E20	Bohr	Elemento Correto	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E26	Bohr	Elemento Correto	Não Representa	Bohr	Elemento Correto	Partícula

Quadro 6 - Estudantes que apresentaram e mantêm o diagrama do modelo atômico com base em Bohr.

(conclusão)

E	Pré-Teste			Pós-Teste		
	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron
E27	Bohr	Elemento Incorreto	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E31	Bohr	Sem Elemento	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E35	Bohr	Elemento Correto	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E36	Bohr	Sem Elemento	Partícula	Bohr	Sem Elemento	Partícula

Fonte: Elaborado pela autora.

Neste caso em específico, a maioria dos estudantes apresentou um elemento correto para a segunda questão tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Talvez esse cenário ocorra porque normalmente os elementos são estudados com base no modelo de Bohr, e para estes participantes essa relação de representação entre modelo e elemento químico seja mais clara. Entre os participantes, cinco representaram o elemento do átomo de hidrogênio, outros exemplos de elementos foram o carbono, nitrogênio, ferro e hélio. Foi possível identificar o elemento pois os estudantes representaram corretamente a quantidade de elétrons e prótons dos elementos, de acordo com o modelo de Bohr que foi escolhido, através de legendas para as partículas subatômicas.

Na categoria indicativa de **baixa evolução representacional** temos os estudantes que iniciam sem um diagrama para o modelo atômico para a questão 1 (pré-teste) , e passam para a forma de representação baseada no modelo de Rutherford (pós-teste) (Quadro 7). Apenas 2,3% dos participantes ficaram nessa categoria. O critério que determina essa análise está pautado no fato de haver uma visualização interpretativa evoluindo para um modelo considerado cientificamente como clássico, e não para um mais complexo com base na perspectiva da física quântica, que oferece maiores subsídios para explicações em outras perguntas, ou para múltiplas representações, que seria o cenário ideal. O mesmo pode ser

observado na questão relacionada ao elétron, no qual os estudantes não possuíam representação externa e passam a interpretar o elétron como uma partícula.

Quadro 7 - Estudantes que não apresentam diagrama e passam para modelo atômico com base em Rutherford.

E	Pré-Teste			Pós-Teste		
	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron
E1	Sem Representação	Sem Elemento	Não Representa	Rutherford	Sem Elemento	Partícula

Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação à categoria de **média evolução representacional**, os estudantes passam de uma situação em que se embasam no modelo de Rutherford para o de Bohr, ou seja, evoluem de um modelo clássico para um modelo quântico que oferece mais ferramentas para a resolução de outros problemas e questões. Além disso, a grande maioria dos estudantes nesta situação, evoluem de uma representação sem conexão com elementos químicos (questão 2) para uma relação corretamente estabelecida e representada (Quadro 8). Este é um indicativo de que a mudança sobre a percepção do modelo atômico pode favorecer a compreensão dos elementos químicos de maneira correta. Dos participantes 14, 28% passaram a interpretar o átomo com base no átomo de Bohr e representar corretamente o elemento químico representado.

Quadro 8 - Estudantes que apresentam diagrama com base no modelo de Rutherford e passam para modelo atômico com base em Bohr.

(contínua)

E	Pré-Teste			Pós-Teste		
	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron
E4	Rutherford	Sem Elemento	Não Representa	Bohr	Elemento Correto	Partícula

Quadro 8 - Estudantes que apresentam diagrama com base no modelo de Rutherford e passam para modelo atômico com base em Bohr.
(conclusão)

E	Pré-Teste			Pós-Teste		
	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron
E15	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E18	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Bohr	Elemento Incorreto	Partícula
E21	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E23	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E25	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Bohr	Sem Elemento	Partícula
E32	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula
E33	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Bohr	Elemento Correto	Partícula

Fonte: Elaborado pela autora.

Outra situação para essa categoria são os estudantes que passam de um modelo de Bohr e Rutherford, para um modelo quântico como o de De Broglie e o de Schrödinger (Quadro 9). Neste caso a situação se caracteriza como média evolução pois ao olharmos para as demais questões do bloco, algumas concepções ainda foram mantidas como partícula para concepção do elétron, mesmo que o estudante tenha passado para uma concepção de modelo quântico (E6, E8, E19), as respostas entre as questões divergem. O elétron é apresentado como partícula por 9,5% dos estudantes, mesmo que o modelo tenha passado para uma representação baseada em Schrödinger ou De Broglie.

Em contrapartida, o estudante E22, demonstrou uma boa evolução passando de uma representação do modelo de baseada em Rutherford para Schrödinger, impactando na resposta para a expressão do elétron, que sai de uma representação de partícula para nuvem, acompanhado a mudança com relação ao

modelo. Isso impacta também na resposta correta para o elemento químico que o diagrama representa. Inicialmente esse participante (E22) não apresentava um elemento, e passou a representar corretamente após a abordagem baseada no átomo de Hidrogênio, o que pode ser um indicador de que explorações dos modelos baseadas em um elemento, utilizando objetos de visualização, pode nos auxiliar a superar os obstáculos destacados na literatura discutido anteriormente. Entre os participantes, 19% passaram de uma condição de sem elemento ou elemento incorreto para uma representação de elemento correto. Sendo 14,28% dos estudantes que passaram do modelos de Rutherford para Bohr, e 4,76% de modelos construídos a partir de Bohr ou Rutherford para modelos mais recentes como o De Broglie ou o de Schrödinger.

Quadro 9 - Estudantes que apresentam diagrama com base no modelo de Rutherford e Bohr e passam para modelo atômico com base em De Broglie e Schrödinger.

E	Pré-Teste			Pós-Teste		
	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron
E6	Bohr	Elemento Incorreto	Partícula	De Broglie	Elemento Incorreto	Partícula
E8	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Schrödinger	Sem Elemento	Partícula
E19	Bohr	Elemento Incorreto	Não Representa	Schrödinger	Elemento Correto	Partícula
E22	Rutherford	Sem Elemento	Partícula	Schrödinger	Elemento Correto	Nuvem

Fonte: Elaborado pela autora.

No caso dos estudantes com **alta evolução representacional**, o principal indicador é a mudança de uma representação baseada em apenas um modelo, para a compreensão de que há vários modelos existentes e válidos. Essa mudança, se reflete também ao observarmos a questão dois que questiona como podemos representar o elétron. Entre as respostas dos estudantes, apresentadas no quadro abaixo (Quadro 10), os diagramas acompanham a evolução dos modelos, mostrando uma coerência entre as respostas, o que indica realmente uma mudança

e evolução. A coerência entre as respostas é um ponto importante a ser observado, pois indica se há realmente uma mudança quanto a ideia dos modelos e suas características, apenas 9,5% dos estudantes se encaixaram nessa categoria.

Quadro 10 - Estudantes que apresentam diagrama com base no modelo de Rutherford e Bohr e passam para múltiplas representações do modelo atômico.

E	Pré-Teste			Pós-Teste		
	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron	Q1: átomo	Q2: elemento químico	Q5: elétron
E11	Rutherford	Elemento Correto	Não Representa	Múltiplas Representações	Elemento Correto	Não Representa
E38	Bohr	Elemento Correto	Partícula	Múltiplas Representações	Elemento Correto	Múltiplas Representações
E40	Bohr	Elemento Correto	Partícula	Múltiplas Representações	Elemento Correto	Nuvem
E41	Bohr	Elemento Correto	Partícula	Múltiplas Representações	Elemento Incorreto	Onda

Fonte: Elaborado pela autora.

Outro fator pode ser observado para corroborar que há uma evolução representacional da concepção dos participantes ao saírem de uma representação isolada para múltiplas, e ao modificar também sua compreensão com relação ao comportamento do elétron. Pode-se perceber através dos dados o impacto desses pontos quando os estudantes são questionados a como explicar a questão dez presente apenas no pós-teste (atividade 4) que ao utilizarem a simulação de acordo com as instruções tinham de *“Com base na sua observação, apresente um modelo para explicar o que está acontecendo dentro da caixa que contém o gás de Hidrogênio. Para responder utilize texto e desenho/diagrama. Inclua também um printscreen da tela da simulação”*.

Para a questão dez, os estudantes que utilizaram **elétron e Bohr**, construíram uma explicação sobre o salto do elétron que interage com o fóton, e fizeram isso em acordo com o modelo de Bohr. Para os casos que utilizaram

orbitais e Schrödinger, os participantes construíram explicações utilizando a percepção de nuvem de probabilidade que ao interagir com o fóton modificam seu formato, ou seja, orbital de acordo com o modelo de Schrödinger (Quadro 11).

Quadro 11 - Estudantes que apresentam diagrama com base no modelo de Rutherford e Bohr e passam para múltiplas representações do modelo atômico.

E	Atividade 1		Atividade 4		
	Q1	Q5	Q1	Q6	Q10
E11	Rutherford	Não Representa	Múltiplas Representações	Não Representa	Elétron e Bohr
E38	Bohr	Partícula	Múltiplas Representações	Múltiplas Representações	Elétron e Bohr
E40	Bohr	Partícula	Múltiplas Representações	Nuvem	Orbitais e Schrödinger
E41	Bohr	Partícula	Múltiplas Representações	Onda	Elétron e Bohr

Fonte: Elaborado pela autora.

Os estudantes que evoluíram para múltiplas representações, conseguiram atingir a explicação da espectroscopia como resultado da interação dos fótons com os elétrons do Hidrogênio apresentado na caixa preta, na opção da simulação *experimento*.

De modo geral, um total de 52,3% dos estudantes ficaram na categoria **ausência de evolução representacional**. É importante ressaltar que a construção de uma evolução conceitual consistente e coerente depende de uma abordagem contínua e a longo prazo. A habilidade de visualizar e transitar entre diferentes objetos de visualização pode ser desenvolvida, mas necessita de diferentes momentos de experiências visuais para que possa ser internalizada cognitivamente. O curto período de exploração pode ter sido outro fator que impactou nos resultados, para que mais estudantes compreendessem que há múltiplas representações para o modelo atômico e fossem capazes de interpretar essa informação para armazenar na memória de longo prazo.

Outro aspecto que pode ter impactado nesse resultado pode ter sido influenciado pelo ensino remoto que modificou a forma de exploração da simulação para o formato de demonstração, ao invés de uma exploração em conjunto, na qual

os estudantes iriam explorar a simulação de forma guiada. As etapas realizadas na pesquisa seriam realizadas de modo presencial.

Entretanto, observando as características das categorias, principalmente no que se refere aos níveis médio (42,78%) e alto de evolução representacional (9,5%), é possível destacar um indício de impacto positivo dos objetos de visualização abordados através da simulação, com relação às externalizações dos estudantes sobre suas visualizações interpretativas. Considerando os resultados de modo geral, é importante analisar em uma camada mais profunda os resultados e olhar para a coerência representacional, observando a consistência entre as formas representacionais texto e diagrama, que foram solicitadas nos enunciados das questões. Assim, o próximo tópico (seção 4.3) apresenta a discussão e apontamentos com relação a este aspecto.

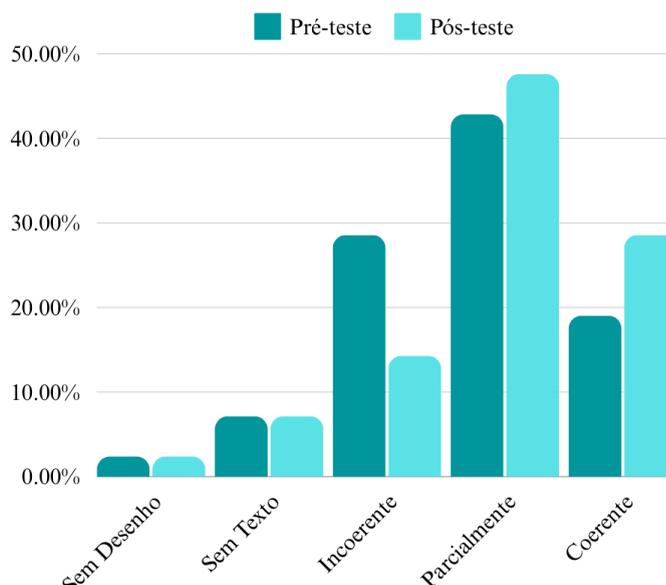
5.3 A COERÊNCIA REPRESENTACIONAL DA VISUALIZAÇÃO INTERPRETATIVA DOS ESTUDANTES

A coerência representacional está pautada na compreensão de que a visualização interpretativa em seu nível científico correto e claro, deve estar presente quando observado os resultados a partir de diferentes objetos de visualização. Quando observados devem ser coerentes em uma mesma externalização. Podemos entender ainda que essa análise de coerência representacional é uma camada mais profunda da evolução apresentada anteriormente.

Nesse ponto, a visualização interpretativa dos estudantes que são externalizadas através dos objetos de visualização, são indícios da compreensão científica na medida em que os objetos convergem para o conceito correto. Assim, explicações estão direcionadas para o mesmo ponto, no qual todos os modelos atômicos apresentam certos limites de validade e podem oferecer explicações para diferentes situações que serão apresentadas por diferentes objetos de visualização de maneira complementar.

Nesta fase de análise é observada a coerência entre o objeto textual e visual apresentado pelos estudantes à questão 1 no pré e pós-teste, que evidencia um crescimento após a abordagem através da simulação favorecendo as informações visuais e textuais (Figura 47). Ou seja, a informação textual e o diagrama estavam em acordo um com o outro para a descrição do modelo atômico.

Figura 47 - Análise de coerência interna da questão um do pré-teste e pós-teste.



Fonte: Elaborada pela autora.

As respostas incoerentes reduziram de 28,5% para 14,2%, enquanto as respostas parcialmente coerentes aumentaram, 42,8 % para 47,6%. As respostas coerentes aumentaram no pós-teste, de 19% para 28,5%. Esses resultados estão em concordância com a estrutura da arquitetura cognitiva (seção 1.1) que estabelece o canal de processamento das informações não-verbais, neste caso os objetos de visualização presentes na simulação, e verbais (a fala), e em como isso favorece e otimiza o processamento de informações sem sobrecarregar a memória de trabalho para a construção de significados dos conceitos (visualização interpretativa). Ou seja, a exploração gradual de objetos de visualização (não-verbal) e a explicação verbal potencializam a construção da visualização interpretativa relacionada a modelos atômicos.

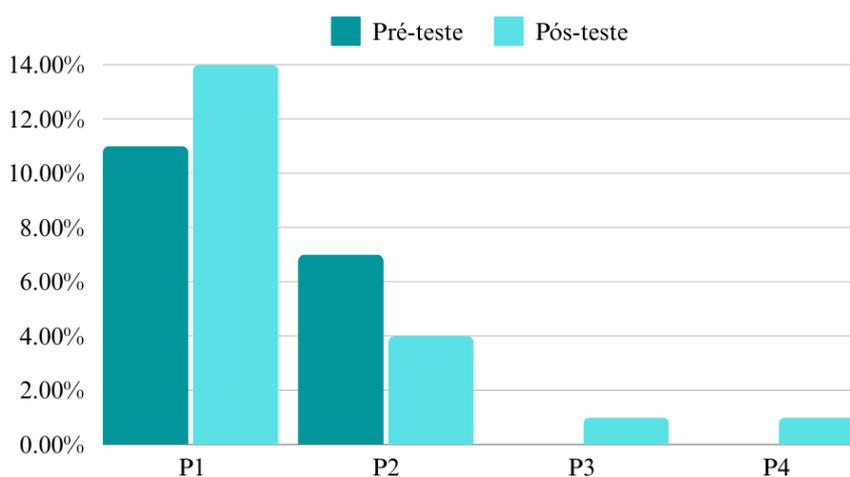
A figura acima (Figura 47) mostra um crescimento com relação às respostas que apresentam coerência interna para a questão, apresentando uma porcentagem de 19% inicialmente, e subindo para 28%. E ainda um aumento das respostas parcialmente corretas, passando de 42% para 47%. Apesar de não estarem em acordo com o esperado como resultado final, indica um caminho para a coerência interna ocorrer. Há também a queda nas respostas incoerentes, passando de 28% para 14%.

Para compreender melhor os casos em que há a coerência parcial, foi preciso olhar para as respostas dos estudantes, comparando diagrama e texto, e a

partir das respostas parcialmente corretas, construir categorias para mostrar como essas respostas dos estudantes apareceram durante as análises (Figura 48).

Assim foram criadas as categorias : P1: defende o átomo como menor parte da matéria, porém desenha prótons, nêutrons e elétrons; P2: cita a existência dos prótons, mas desenha o núcleo maciço; P3: cita a nuvem de probabilidade, porém desenha linhas como níveis de energia e o elétron como partícula; P4: não identifica o nêutron como carga nula. Os resultados encontrados para as categorias, estão apresentados na figura abaixo e segue a codificação apresentada como P1, P2, P3 e P4.

Figura 48 - Respostas parcialmente coerentes.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os estudantes que definiam o átomo como menor estrutura da matéria mas desenhavam partículas subatômicas passaram de 11% (pré-teste) para 14% no pós-teste, enquanto o caso dos estudantes que comentam a existência de prótons porém desenhavam o núcleo maciço passou de 7% para 4%. A inconsistência entre o desenho e afirmação relacionada à existência ou não de partículas subatômicas e sua representação se mostrou uma barreira para alguns participantes. Apenas 1% dos participantes passou a comentar sobre a existência da nuvem de probabilidade, porém continuou desenhando as linhas na eletrosfera e o elétron como partícula. O que indica que o conceito de nuvem de probabilidade não foi alcançado. Para complementar essa análise, podemos observar essas respostas por estudante, destacando os que mantiveram a mesma coerência parcial ou a não coerência, o que demonstra situações de manutenção de equívocos nas respostas expressadas

pelos estudantes, indicando que a evolução conceitual é processual, sendo uma habilidade que deve ser desenvolvida e melhorada durante a vida. A capacidade de utilizar diferentes objetos de visualização para responder uma mesma questão problema parte de situações em que o domínio sobre os objetos e os conceitos esteja em uma condição de alto nível.

Quadro 12 - Estudantes que mantiveram a resposta sem coerência interna ou com a mesma coerência parcial.

ESTUDANTE	QUESTÃO 1	
	Pré-Teste	Pós-Teste
E3	P1	P1
E6	P1	P1
E8	P1	P1
E14	P1	P1
E20	P1	P1
E27	P1	P1
E30	P1	P1
E31	P1	P1
E33	P2	P2
E39	P1	P1
E40	P2	P2
E41	P1	P1

Fonte: Elaborado pela autora.

Entretanto, é importante destacar a mudança dos estudantes que ou não apresentavam coerência alguma, ou ainda que não conseguiam externalizar suas respostas de forma completa, ou seja, de maneira verbal (texto) e não-verbal (diagrama). O que indica os primeiros passos para a conquista da coerência interna em um cenário no qual o estudante seja capaz de transitar entre diferentes formatos de objeto de visualização (texto e diagrama), utilizando-os em suas externalizações. Consequentemente, o início para uma compreensão mais abrangente das concepções relacionadas ao modelo atômico, quando favorecida pelos dois canais.

Quadro 13 - Estudantes que passaram de uma resposta incompleta ou sem coerência interna para coerência parcial.

ESTUDANTE	QUESTÃO 1	
	Pré-Teste	Pós-Teste
E1	Sem Desenho	P1
E23	Incoerente	P1
E32	Sem Texto	P2

Fonte: Elaborada pela autora.

E por fim, os casos dos estudantes que atingiram o esperado nessa pesquisa, saírem de não coerência, ou coerência parcial, para a total coerência entre as informações verbais e não-verbais externalizadas.

Quadro 14 - Estudantes que passaram de uma resposta sem coerência interna ou parcial, para coerência interna.

ESTUDANTE	QUESTÃO 1	
	Pré-Teste	Pós-Teste
E2	P1	Coerente
E 9	P2	Coerente
E17	Incoerente	Coerente
E19	Incoerente	Coerente
E21	Incoerente	Coerente
E28	P2	Coerente
E38	P2	Coerente

Fonte: Elaborado pela autora.

Entre os casos que atingiram a coerência interna de representação visual estão três estudantes que tiveram evolução representacional (E19 e E21 - média evolução; E38 - alta evolução), o que pode ser um indicador inicial da relação entre evolução conceitual e compreensão de coerência representacional.

De maneira geral, a coerência interna sofreu algumas modificações, considerando as respostas para a questão um nas atividades um (pré-teste) e

quatro (pós-teste), o que mostra que a exploração dos dois canais pode ter favorecido parcialmente ou integralmente para essas mudanças nas externalizações dos estudantes quando postas em comparação. Esse é mais um indício de que realmente informações verbais e não-verbais devem andar lado a lado nas propostas de abordagem de conceitos, nesse caso, com relação aos modelos atômicos. Os resultados evidenciam a importância de se considerar a relação entre as informações verbais e não verbais na elaboração de materiais e propostas para a abordagem de conceitos.

6. CONSIDERAÇÕES E APONTAMENTOS FINAIS

A visualização é uma habilidade que deve ser desenvolvida, e para isso é necessário traçar estratégias para abordagens que favoreçam esse processo. Ferramentas visuais podem ser grandes aliadas durante esse desenvolvimento. A pergunta que norteou a pesquisa foi o questionamento de quais os efeitos do uso de uma simulação sobre a visualização interpretativa dos estudantes e o seu potencial para o ensino de modelos atômicos.

A hipótese inicial era que o uso da simulação e a forma como é realizada a utilização dessa ferramenta auxiliaria no desenvolvimento da habilidade de visualização dos estudantes por favorecer as experiências visuais de maneira não-verbal, acompanhada de explicações verbais, favorecendo os dois canais de codificação de informação. Isto pode ser observado a partir da aplicação do pré-teste e pós-teste, trazendo resultados importantes para esse cenário de estudo.

A análise dos dados ocorreu em três etapas, sendo: a análise direta para cada questão no pré-teste e pós-teste, análise por bloco de perguntas para avaliar a evolução da visualização interpretativa, e por fim, a coerência representacional entre diagrama e texto nas questões do pré-teste e pós-teste.

Na primeira etapa de análise, a partir dos dados, foi possível perceber que 24% dos estudantes deixaram de utilizar o modelo de Rutherford para representar o átomo. Inicialmente era esperado que em grande parte os estudantes iriam utilizar esse modelo como base em Rutherford como de acordo com a literatura. Dos participantes, 18% passaram a para modelos mais recentes, como De Broglie e Schrödinger, ou ainda, para múltiplas representações do modelo atômico. Esse indicativo é importante para impulsionar mais estudos nessa área, e sinalizar que é possível ultrapassar barreiras de ensino associadas ao conteúdo, como por exemplo o abandono total de um modelo antigo para um novo, ou a concepção de átomo como algo visível para a concepção de existência de modelos científicos.

Outro resultado encontrado que é relevante foi a associação correta a um elemento químico com o modelo expressado para o átomo, que passou de 33% no pré-teste para 52% no pós-teste. Os estudantes conseguiram integrar um pouco melhor os conceitos de modelos atômicos e elementos químicos, outro ponto discutido na literatura com relação a descontextualização conceitual no qual os estudantes não conseguem transpor o conceito de modelo atômico para outro

momento e relacionar a um elemento corretamente. Em parte, esse resultado pode ter sido encontrado justamente devido à abordagem que foi realizada a partir do átomo de Hidrogênio e os diferentes modelos.

Com relação a evolução da visualização interpretativa, quando observada a partir da resposta de blocos de questões complementares, 52.3% mantiveram suas concepções iniciais de modelo com base em Bohr e Rutherford. De acordo com a literatura, esses modelos são os mais utilizados pelos estudantes como base para construções visuais (seção 2.2). Apenas 9,5% evoluíram para múltiplas representações, e apesar desse cenário não superar a manutenção das representações, os resultados encontrados são um impulso para novas pesquisas na área, e pode auxiliar no direcionamento de outros estudos. Além de serem um indicativo de que através de experiências visuais abordadas de forma gradual, respeitando as limitações da memória de trabalho e explorando os objetos de visualização, é possível conduzir a aprendizagem dos estudantes para que consigam compreender os diferentes modelos através da simulação.

A coerência representacional entre texto e diagrama é bastante importante de ser analisada, considerando que esse ponto evidencia a capacidade e a habilidade do estudante de expressar corretamente suas interpretações através de diferentes objetos de visualização. Entre os resultados, a incoerência entre diagrama e texto caiu de 28% para 14% do pré-teste para o pós-teste. Enquanto as respostas parcialmente coerentes aumentaram 4,8%, e as coerentes 9,5%. Mesmo considerando que não são números expressivos, esses resultados apontam para uma mudança de respostas nas quais os estudantes conseguiram se expressar por meio de mais de um objeto, o que pode ser um início do desenvolvimento da habilidade de visualizar e representar. Em linhas gerais a simulação pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade visual, porém seria importante outros estudos para uma generalização dos dados.

A concepção de uma arquitetura cognitiva nos mostra um ponto importante quando a consideramos nos momentos de ensino, principalmente ao que se refere seu papel de orientar propostas pedagógicas que tenham maior potencial em alcançar seus objetivos de aprendizagem ao favorecerem os canais de processamento de informação verbal e não-verbal. Compreender que os conceitos podem ser apresentados em diferentes formatos para evitar a sobrecarga de processamento, norteia diretamente as práticas e metodologias de ensino.

Para além desse ponto, ao considerar essa estrutura, a visualização nos mostra a diversidade de objetos visuais que utilizamos diariamente em nossas práticas, e que podem ser melhor aproveitadas quando sabemos como estabelecer os contextos de uso considerando o momento e o complemento verbal. Ou seja, desconstrói a percepção de que a imagem é apenas complementar, e a coloca em igualdade com as informações verbais. Transpassa o papel de ilustração para uma material importante tanto no processo de ensinar quanto avaliar e balizar as escolhas pedagógicas. Integrar o que é visto ao que é dito, o verbal e não-verbal, apresenta maior peso e influência sobre o que é compreendido a partir da abordagem de ensino.

De modo geral, a hipótese construída no início dessa pesquisa é parcialmente corroborada ao vermos os estudantes partindo que modelos únicos para modelos múltiplos, coexistentes e válidos. Parte dos estudantes compreendeu o modelo não apenas como uma construção isolada, mas como ferramenta de explicação de elementos químicos em sua estrutura. Ao encontro desses dois pontos há também de se ressaltar a evolução de alguns participantes com relação ao conceito de elétron e sua definição representacional, que modificaram suas percepções levando-os a entender as diferentes concepções dentro das propostas de modelos. Este é um indício do início de uma evolução e coerência visual e conceitual, considerando que essa compreensão não pode ser dissociada da visão geral de um modelo atômico.

Um aspecto importante que deve ser destacado como resultado dessa pesquisa, é que a relação entre evolução e coerência representacional deve ser melhor discutida em pesquisas futuras. Em um cenário com mais participantes e resultados, fazer o cruzamento de dados relacionados a perspectivas de análise pode melhor esclarecer os indícios aqui encontrados, de que a evolução visual, quando presente, está associada à existência de uma coerência representacional entre informações verbais e não-verbais. Para além disso, estender o período de exploração para mais aulas pode favorecer a evolução conceitual, o que impacta diretamente as construções de diagramas dos estudantes. A habilidade de visualizar e representar depende de diferentes momentos de aprendizagem e instrução direta sobre objetos e de abordagens através deles. É difícil ter uma margem precisa de número de aulas que leve a uma evolução visual substancial. Para balizar as decisões, é importante pensar sobre o nível de carga intrínseca envolvida no

conteúdo, a quantidade de conceitos envolvidos e quais os tipos de objetos são relevantes para a compreensão do conteúdo estudado.

Diante dos resultados, é possível apontar que a simulação apresenta uma contribuição para o ensino dos modelos atômicos ao abordar os modelos de forma integrada ao elemento Hidrogênio. Um dos resultados que responde a uma das questões norteadoras é o resultados da questão quatro aplicada no pós-teste, em que 28,57% dos estudantes escolheram a opção todos os modelos (Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, De Broglie e Schrödinger) como corretos para representar o modelo para o átomo de Hidrogênio. Apesar do resultado não ser a maioria entre os participantes, a porcentagem obtida é um indicativo da contribuição da simulação para a aprendizagem sobre o tema.

Outro fator observado entre os resultados, é que ao questionar os estudantes sobre a identificação relacionado ao salto do elétron no modelo de Bohr e a mudança de orbital no modelo de Schrödinger, os estudantes conseguiram identificar corretamente as imagens retiradas da simulação que demonstraram o modelo atômico e o diagrama de níveis de energia simultaneamente.

A simulação foi uma ferramenta importante durante o processo de exploração visual dos objetos relacionados aos modelos atômicos, e ao ser associado à informação verbal das explicações. Apesar de entre os estudantes, apenas um tenha apresentado a mudança de sem construção de diagrama para a concepção de átomo no pré-teste, para uma construção baseada em Rutherford no pós-teste, este pode ser um indicativo do potencial da simulação em emprestar uma base de diagrama para estudantes que não a possuem. E ainda, os casos em que os estudantes passam de uma representação única para múltiplas, aponta para a possível contribuição da simulação durante a exploração de diferentes objetos de visualização.

Para além disso, houve pontos durante as análises que poderiam ser melhor avaliados caso tivesse sido realizado entrevistas com os participantes da pesquisa, como estava previsto na proposta inicial, construída previamente a pandemia da Covid-19, que interferiu diretamente na estrutura de aplicação. Devido a modalidade online, a proximidade para a realização de entrevistas complementares, que poderiam enriquecer mais os dados, não foram realizadas. Assim, como sugestão de pesquisas futuras poderia ser integrado ao desenho metodológico uma entrevista final com estudantes que deixam em aberto algumas externalizações, e também

com aqueles que se destacam em algumas categorias, para posterior cruzamento de dados.

Contudo, a proposta de estudo salienta a importância da integração verbal e não-verbal e o seu impacto para as visualizações interpretativas construídas e externalizadas pelos estudantes e sua coerência. A exploração gradual dos objetos de visualização contribuem para uma evolução representacional. E para além dos aspectos analisados, este trabalho direciona para a percepção de como as ações externas, quando pensadas com base em uma arquitetura cognitiva de canal dual, contribuem para a aprendizagem. A imagem não é por si só o significado, assim como o objetivo não é em si sua representação. É necessário despende de mais de uma forma de apresentação de informação, saber dosar, medir e alinhar, para que o conhecimento seja assim apresentado por diferentes canais favorecendo a arquitetura cognitiva, sem sobrecarregar a memória de trabalho.

REFERÊNCIAS

ADBO, Karina.; TABER, Keith S. Learners' Mental Models of the Particle Nature of Matter: A study of 16-year-old Swedish science students. **International Journal of Science Education**. v. 31, n.6. 2009. p. 757-786.

ALLRED, Zahilyn D. Roche; BRETZ, Stacey Lowery. University chemistry students' interpretations of multiple representations of the helium atom. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 20, p. 358-368, 2019.

ALVES, T. C. G.; SANTOS, C. S.; SUSSUCHI, E. M.; LIMA, J. P. M. Concepções dos Graduandos do Curso de Química Licenciatura da Universidade Federal de Sergipe/Campus de São Cristóvão sobre o Átomo e os Modelos Atômicos. **Scientia Plena**, v. 11, n. 6, 2015. ISSN 1808-2793.

ARAÚJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. **Interatividade em recursos computacionais aplicados ao ensino-aprendizagem de física**. 14^a Jornada Nacional de Educação. [S.l.]: [s.n.]. 2008. p. 1-10.

BARBOZA, Laís Daniele Rodrigues. **Concepções alternativas dos alunos do ensino médio público de diamantina relacionada a átomo, natureza do ar e estados físicos**. Diamantina, 54p., 2011. Monografia (Graduação) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

BOHR, Niels. **Física atômica e conhecimento humano: ensaios 1932-1957**. Contraponto Editora, 1^a ed. Março, 2021.

ÇALIK, Maumemr; UNAL, Suat; COSTU, Bayram; DEDE, Nurhan; AYASS, Alipassa. Investigating effectiveness of analogies embedded within four-step constructivist teaching model: a case of the 'atom' concept. **Journal of Science Education**, v. 10, n. 1, p. 36-40, 2009. ISSN 0124-5481.

CHIU, J. L.; DEJAEGHER, C. J.; CHAO, J. The effects of augmented virtual science laboratories on middle school students' understanding of gas properties. **Computers & Education**, v. 85, p. 59-73, 2015. ISSN 0360-1315.

CLARK, J. M.; PAIVIO, A. Dual coding theory and education. **Educational Psychology Review**, v. 3, n. 3, p. 149 - 210, 1991. ISSN 1573-336X.

CLARK, T. M.; CHAMBERLAIN, J. M. Use of a PhET Interactive Simulation in General Chemistry Laboratory: Models of the Hydrogen Atom. **Journal of Chemical Education**, v.91, 1198-1202, Abril, 2014.

COOPER, Melanie M.; Grove, Nathaniel; UNDERWOOD, Sonia M.; KLYMKOWSY, Michael. Lost in Lewis Structures: An Investigation of Student Difficulties in Developing Representational Competence. **Journal of Chemical Education**, v. 87, n. 8. 2010

COSTA, M. D. **XII Congresso Nacional da Educação**. Simulações computacionais no ensino de física: revisão sistemática de publicações da área de ensino. Curitiba: [s.n.]. 2017. p. 7531-7544.

DERMAN, Aysegül; KOÇAK, Nuriye; EILKS, Ingo. Insights into Components of Prospective Science Teachers' Mental Models and Their Preferred Visual Representations of Atoms. **Education Sciences**, v. 9, 2019. ISSN 2227-7102.

DORI, Y. J.; BARAK, M. Virtual and physical molecular modeling: Fostering model perception and spatial understanding. **Educational Technology & Society**, v. 4, n. 1, p. 61-74, 2001. ISSN 1436-4522.

DU PLOOY, S. J. **Students' associations between microscopic models and macroscopic events in chemistry**. Potchefstroom, 206p., 2012. Dissertação (Mestrado) - North-West University.

EKİNCİ, Serkan. **Investigating 12th grade students' cognitive structures about the atom concept using different assessment tools**. Ankara, 84p., 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Hapettepe.

FAGUNDES, A. L.; SILVA, T. D.; BARROSO, M. F. Aprendizagem mediada por uma hiperídia educacional. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 20, p. 91-114, 2015. ISSN 1806-7573.

FERREIRA, Grazielle. Rocha. **Percepções sobre modelos e modelagens no ensino de modelos atômicos presentes em livros didáticos de química**. Planaltina, 17p., 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de Brasília.

FUKUI, Ana; PACCA, Jesuína. L. A. **Modelo atômico e corrente elétrica na concepção dos estudantes**. II ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Valinhos: [s.n.]. 1999. p. 1-9.

GILBERT, John K. **Visualization in Science Education**. Springer, p. 1-319. 2005.

GILBERT, John K.; REINER, M; NAKHLEH, M. **Visualization Theory and Practice in Science Education**. Springer, p. 1-139. 2008.

GILBERT, John K. TREAGUST, David. **Multiple Representations in Chemical Education**. Springer, p. 1-367, 2009.

GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. D. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 31-46, 2005. ISSN 1518-8795.

HARRISON, Allan Gordon; TREAGUST, David F. Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. **Science Education**, v. 80, n. 5, p. 509-534, 1996. ISSN 1098-237X.

HARRISON, Allan Gordon. **Conceptual change in secondary chemistry: the role of multiple analogical models of atoms and molecules**. Perth, 350p., 1996. Tese (Doutorado) – Universidade de Curtin.

HESTENES, D. Toward a modeling theory of physics instruction. **Am. J. Phys**, v. 55, n. 5, p. 440-454. Maio, 1987.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. Bookman; 13ª edição. 2023.

LEAL, Christiano Carvalho. **Modelo atômico e interação da radiação com a matéria: concepções de um grupo de alunos do ensino médio**. Campos dos Goytacazes, 106p., 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense.

LIMA, Márcia Conceição Rocha. **Concepções de ligações químicas dos estudantes que ingressam no ensino médio**. Planaltina, 28p., 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de Brasília.

LOCATELLI, Solange Wagner. **Relações existentes entre metavisualização e as representações simbólicas e submicro na elaboração de atividade em química**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

LOWRIE, Tom; LOGAN, Tracy; HEGARTY, Mary. The influence of spatial visualization training on students' spatial reasoning and mathematics performance. **Journal of Cognition and Development**. p. 1-24, 2019.

MACKGAN, S. B; PERKINS, K. K.; DUBSON, M.; MALLEY, C.; REID, S.; LEMASTER, R.; WIEMAN, C. E. Developing and researching PhET simulations for teaching quantum mechanics. **American Journal of Physics**, v.76, n. 5/6, p. 405-417, Abril/Maio, 2008.

MARTINS, A. A.; GARCIA, N. M. D. **Ensino de Física e Novas Tecnologias de Informação e Comunicação: Uma Análise da Produção Recente**. VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação. Campinas: [s.n.]. 2011. p. 1-10.

MAYER, R. E. (Ed.). **The Cambridge handbook of Multimedia Learning**. 2. ed. Nova York: Cambridge University Press, 2014.

MELO, Mayara Soares de. **A transição entre níveis -macroscópico, submicroscópico e representacional - uma proposta metodológica**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de Brasília, Brasília.

MELO, Marlene Rios; NETO, Edmilson Gomes de Lima. Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 112-122, Maio, 2012. ISSN 2175-2699.

MELO, Tamires da S.; SILVA, Sarah Emanuelle P. da; SANTOS, Hiago A. do N.; SÁ, Roberto A.. **Análises das concepções de alunos do sobre os Modelos Atômicos a partir da aplicação de uma sequência didática**. XVI Encontro Nacional de Ensino de Química. Salvador: [s.n.]. 2012.

MEJIA, William Ernesto. **Effects of abstract versus concrete visual representations in an instructional simulation on students' declarative knowledge, learning transfer, and perceptions of the simulation.** 2011. Tese (Doutorado), Southern Illinois University, Illinois.

Miller, George A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. **Psychological Review**, v. 63, n.2, p. 81–97. 1956.

MNGUNI, Lindelani. The theoretical cognitive process of visualization for science education. **SpringerPlus**, v. 3, n184, p. 1-9, 2014.

MNGUNI, Lindelani; SCHÖNBORN, Konrad; ANDERSON, Trevor. Assessment of visualization skills in biochemistry students. **South African Journal of Science**, v. 112, n. 9/10, p. 1-8, 2016.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Concepções atomistas dos estudantes. **Química Nova na Escola**, n. 1, p. 23-26, Maio 1995. ISSN 2175-2699.

NETZELL, Elisabeth. **Using models and representations in learning and teaching about the atom : A systematic literature review.** Linköpings, 70p., 2014. Monografia (Graduação) – Universidade de Linköpings.

NKOSI, Thobile; MNGUNI, Lindelani. The impact of physical molecular models on students' visuo-semiotic reasoning skills related to the lewis structure and ball & stick model of ammonia. **Journal of Baltic Science Education**, v. 19, n. 4, p. 594-604. 2020.

ORNEK, Funda. Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching Science. **International Journal of Environmental and Science Education**, v. 3, n. 2, p. 35-45, Abril 2008. ISSN 1306-3065.

PARK, Eun Jun; LIGHT, Gregory. Identifying Atomic Structure as a Threshold Concept: Student mental models and troublesomeness. **International Journal of Science Education**, 2009. 233-258.

PEREIRA, Fernando de Candido; SCHUHMACHER, Elcio; CARDOSO, Gisele Luz. A estratégia hands-on-tec e o uso de simulações no ensino de conceitos sobre radiação eletromagnética a alunos do Ensino Médio. **Revista Ciências&Ideias**. Rio de Janeiro, v.5, n.1, p.123-135, Jan/Abr. 2014.

PHILLIPS, Linda. M.; NORRIS, Stephen. P.; MACNAB, John. N. Visualization in Mathematics, reading and science education. **Springer**. P. 3-105. 2010.

POLAT-YASEEN, Zeynep. **A comparison between elementary school students' mental models and visualizations in textbooks for the concept of atom.** Joint AARE APERA International Conference. Sydney: [s.n.]. 2012. p. 1-19.

REINALDO, Thais Adrienne Silva. **Representações em química: relações entre níveis do conhecimento e seus signos para a apropriação da linguagem química.** 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Bauru.

REIS, Jheniffer Micheline Cortez dos. **Obstáculos epistemológicos: Implicações na aprendizagem do conceito de átomo.** 175p., 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

CHANG RUNDGREN, Schu-Nu; YAO, Bao-jun. Visualization in research and science teacher' professional development. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, v. 15,n. 2, Article 2. 2014.

ROLAND, Elizabeth Anne Edwards. **An exploratory study of high school students. conceptions of atomic and cellular structure and relationships between atoms and cells.** Lexington, 263p., 2009. Tese (Doutorado) - University of Kentucky.

SANDRI, Ivana Greice; MARTINS, José Arthur; PIEMOLINI-BARRETO, Luciani Tatsch; VILLAS-BOAS, Valquíria. **Concepções prévias do modelo de átomo dos alunos de engenharia de alimentos e engenharia química.** XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Blumenau: [s.n.]. 2011.

SANTANA, Khatamani Vanessa Rezende; SARMENTO, Victor Hugo Vitorino; WARTHA, Edson José. Modelos atômicos e estrutura celular: uma análise das ideias dos estudantes de química do ensino médio. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 2, n. 2, p. 110-122, 2011. ISSN 2179-426X.

SCHEID, Jochen; MÜLLER, Andreas; HETTMANNSPERG, Rosa; SCHNOTZ, Wolfgang. **Scientific Experiments, Multiple Representations, and their coherence: a task-based elaboration strategy for ray optics**, p. 239-252. Multidisciplinary Research on Teaching and Learning. Palgrave Macmillan, a division of Macmillan Publishers Limited, 2015.

SCHEID, Jochen; MÜLLER, Andreas; HETTMANNSPERG, Rosa; SCHNOTZ, Wolfgang. **Representational Competence in Science Education: From Theory to Assessment.** p. 263-274. 2018. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. Daniel, K. L. (ed.), Towards a Framework for Representational Competence in Science Education, Models and Modeling in Science Education, 11.

SCHEID, Jochen; MÜLLER, Andreas; HETTMANNSPERG, Rosa; SCHNOTZ, Wolfgang. **Improving learners' representational coherence ability with experiment-related representational activity tasks.** Physical Review Physics Education Research, v. 15, 2019.

SILVA, Geilson Rodrigues da; GANDRA, Lucas Pereira. Aplicação de um roteiro exploratório para uso da simulação computacional: modelos do átomo de Hidrogênio. **Revista Electrónica Formación y Calidad Educativa**, v. 5, n. 1. p. 17-32, Jan/Abr, 2017.

SILVA, Maria Rosana Evaristo da; CINTRA, Elaine Pavini. **Experimentação e simulações**: contribuições para o ensino e aprendizagem das ações Redox. IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS. Girona: [s.n.]. p. 1153-1159, 2013.

SILVA, Sostenes Marcos de; GONÇALVES, Silwellem Talyta. **Simulação Computacional Como Instrumento Facilitador no Ensino de Modelos Atômicos**. In: VI Congresso Nacional de Educação. Fortaleza. 2019, p.1-8.

SILVA, Thamyres Ribeiro da; DUTRA-PEREIRA, Franklin Kaic; SANTOS, Maria Betania Hermenegildo de. **Desenhos científicos no Ensino de Química**: as concepções prévias dos alunos do ensino médio sobre os átomos. XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Natal: [s.n.]. 2019. p. 1-8.

SILVEIRA, Felipe Alves; VASCONCELOS, Ana Karine Portela; ALMEIDA, Suyanne do Nascimento; NETO, Manuel Bandeira dos Santos. Investigação dos obstáculos epistemológicos no ensino de química: uma abordagem no tópico modelos atômicos. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, v. 9, n. 1, p. 31-46, 2019. ISSN 2237-4450.

SWELLER, John.; AYRES, Paul; KALYUGA, Slava. **Cognitive Load Theory**. Nova Iorque: Springer, 2011.

TABER, K. S. Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 2, n. 2, p. 123-158, 2001. ISSN 1756-1108.

TABER, Keith. S. The atom in the chemistry curriculum: fundamental concept teaching model or epistemological obstacle? **Foundations of Chemistry**, v. 5, p. 43-84, 2003. ISSN 1572-8463.

TABER, Keith. S.; TAN, Kim Chwee Daniel The Insidious Nature of 'Hard-Core' Alternative Conceptions: Implications for the constructivist research programme of patterns in high school students' and pre-service teachers' thinking about ionization energy. **International Journal of Science Education**, v. 33, n. 2, p. 259-297, 2010. ISSN 1464-5289.

TREAGUST, David; CHITTLEBOROUGH, Gail; MAMIALA, Thapelo. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 11, p. 1353-1368, Novembro, 2003. ISSN 1464-5289.

VAVRA, Karen. L.; JANJIC-WATRICH, Vera; LOERKE, Karen; PHILLIPS, Linda; NORRIS, Stephen P.; MACNAB, John .Visualization in science education. *Alberta Science Education Journal*, v. 41, n. 1, p. 22-30. Janeiro, 2011.

VASCONCELLOS, Túlio Flávio de.; RODRIGUES, Acássio Paiva; GOMES, Geovany Amorim. **Concepções alternativas dos modelos de átomo dos alunos do ensino médio de uma escola pública em Sobral-CE**. III Congresso Nacional de Educação. Natal: [s.n.]. 2016. p. 1-6.

WANG, Chia-Yu; BARROW, Lloyd H. Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity: a comparison of undergraduate general chemistry students with high and low levels of content knowledge. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, p. 130-146, Janeiro 2013. ISSN 1756-1108.

APÊNDICE A – ATIVIDADE 1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
COLÉGIO DE APLICAÇÃO



Olá a todos!

Essa primeira atividade tem como objetivo avaliar o que vocês compreendem sobre a estrutura atômica. É muito importante que vocês leiam as questões com atenção antes de responder, então faça o download do documento, leia e responda todas as questões. A atividade conta com um total de oito perguntas, e somará um ponto (1,0) na avaliação final. Todas as perguntas devem ser respondidas de forma completa, por isso atenção ao que é pedido no enunciado. O texto e o diagrama (desenho) das respostas devem ser construídos por vocês, sem cópias de qualquer outro material.

Para submeter as respostas você deve fazer upload do seu arquivo no formato PDF. Lembrando que, caso você faça a atividade com papel e caneta e as fotografe, todas as fotos devem ser nítidas e estar em um documento único em pdf. Ou vocês podem utilizar um editor de documento (Word, LibreOffice) para construir a parte escrita, e incluir os seus desenhos por meio de fotos, ou por imagens construídas por meio de software (Paint). Não esqueçam de identificar as respostas de acordo com a questão que estão respondendo. Boa Sorte!

ATIVIDADE 1 – O que você conhece sobre o átomo?

Colégio de Aplicação – UFSC - Química - 1º ano do Ensino Médio

Nome: _____

- 1)** O que você entende por átomo? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta.
- 2)** O átomo que você apresentou na questão anterior, corresponde à representação de algum elemento químico? Caso sim, qual elemento?
- 3)** Existe alguma maneira de enxergar o átomo? Justifique sua resposta.
- 4)** Você considera que há apenas uma forma de representar o átomo? Justifique sua resposta.

- 5)** O que você entende por elétron? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta.
- 6)** Para você o elétron faz parte do átomo? Caso você entenda que sim, em qual lugar ele estaria?
- 7)** O que você entende por eletrosfera? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta.
- 8)** O que você entende por núcleo atômico? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta.

APÊNDICE B – ATIVIDADE 2

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
COLÉGIO DE APLICAÇÃO



Olá a todos!

Essa segunda atividade tem como objetivo avaliar o que vocês compreenderam sobre a relação entre os níveis de energia e os modelos atômicos de Bohr e Schrödinger. É muito importante que vocês leiam as questões com atenção antes de responder, então faça o download do documento, leia e responda às duas questões com muita atenção. A atividade contará como atividade avaliativa com peso dez (10,0).

Critérios para avaliação:

- 1) Desenvolver a explicação de sua resposta.
- 2) Relacionar as os níveis de energia com o modelo atômico correspondente (figuras A e B).
- 3) Apresentar os conceitos envolvidos corretamente e com clareza.
- 4) Identificar corretamente o modelo atômico.

Não esqueçam de identificar as respostas de acordo com a questão que estão respondendo. Para enviar as respostas, basta enviar o documento com as mesmas. Para submeter as respostas você deve fazer upload do seu arquivo no formato PDF. Lembrando que, caso você faça a atividade com papel e caneta e a fotografe, as fotos devem ser nítidas e estar em um documento único em pdf. Ou vocês podem utilizar um editor de documento (Word, LibreOffice) para construir a parte escrita, e incluir os seus desenhos por meio de fotos, ou por imagens construídas por meio de software (Paint), e ao final salvar em PDF.

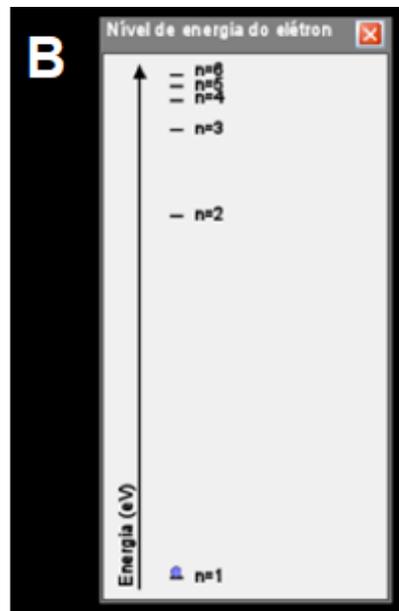
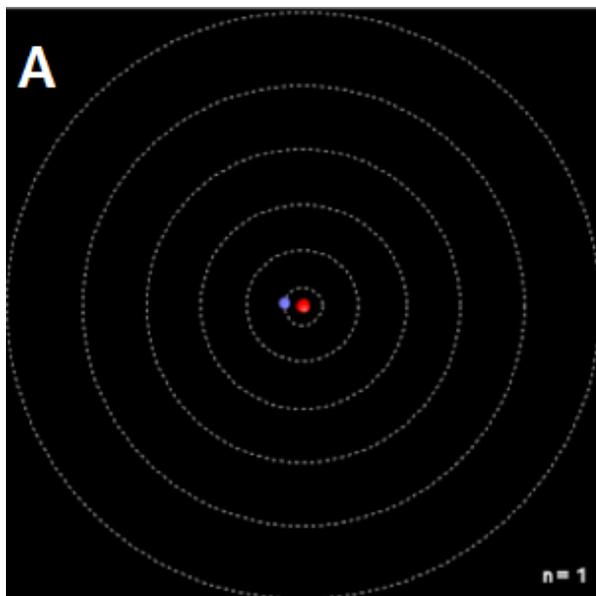
Boa Sorte!

ATIVIDADE 2 – Os elétrons e os níveis de energia!

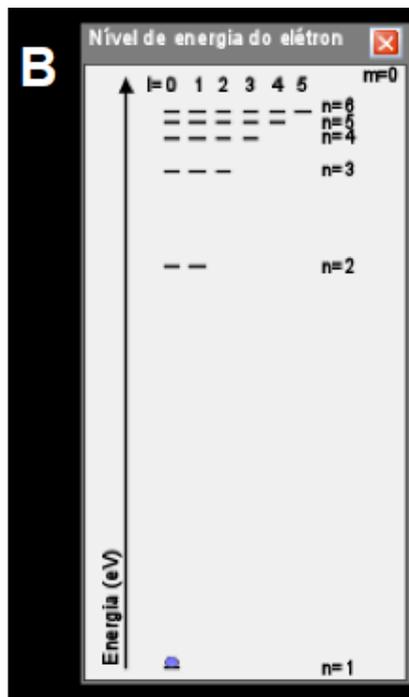
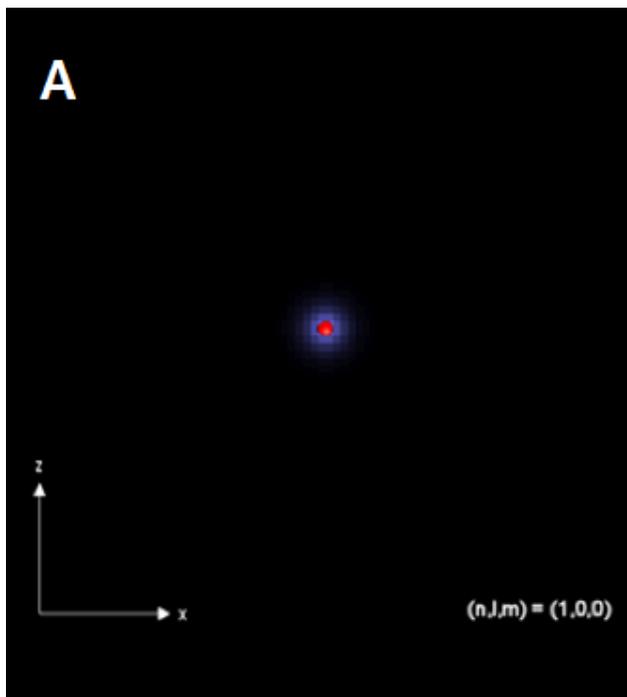
Colégio de Aplicação – UFSC - Química - 1º ano do Ensino Médio – Turma

Nome: _____

1) Identifique o modelo atômico representado na figura A (abaixo) e, em seguida, estabeleça e explique a relação entre a mesma e os níveis de energia apresentados na figura B (abaixo).



2) Identifique o modelo atômico representado na figura A (abaixo) e, em seguida, estabeleça e explique a relação entre a mesma e os níveis de energia apresentados na figura B (abaixo).



APÊNDICE C - ATIVIDADE 3**ATIVIDADE ASSÍNCRONA 3 - O que você aprendeu até aqui!**

Olá, tudo bem?

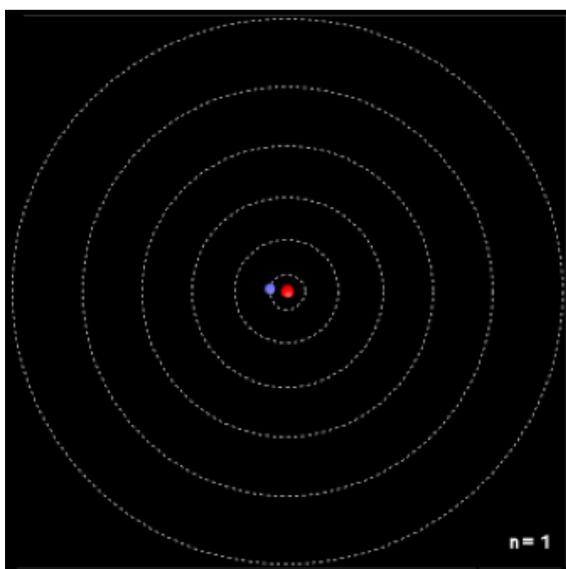
É muito importante que você se identifique com o nome completo.

Essa atividade é para avaliar o que você aprendeu em nossas discussões até o momento, e ajudar você a lembrar o que já vimos. Você terá a chance de responder apenas uma vez, então leia com atenção as questões e analise bem as opções. Serão um total de 10 questões, valendo um ponto (01,0) cada, totalizando nota máxima 10,0.

Boa sorte!

Nome: _____

1 - Os diferentes modelos atômicos podem ser classificados em modelos clássicos e modelos quânticos. Considerando essa afirmação, e de acordo com a simulação 'Modelos do átomo de Hidrogênio' classifique o modelo da figura abaixo como quântico ou clássico:



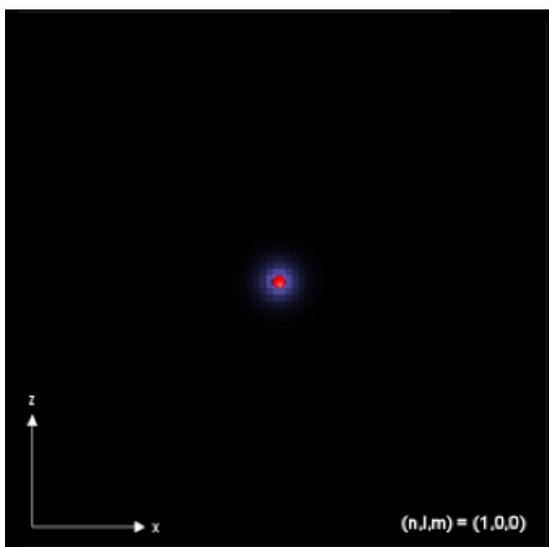
Clássico

Quântico

2 - A principal diferença entre os modelos atômicos descritos por Niels Bohr e Schrödinger está relacionado:

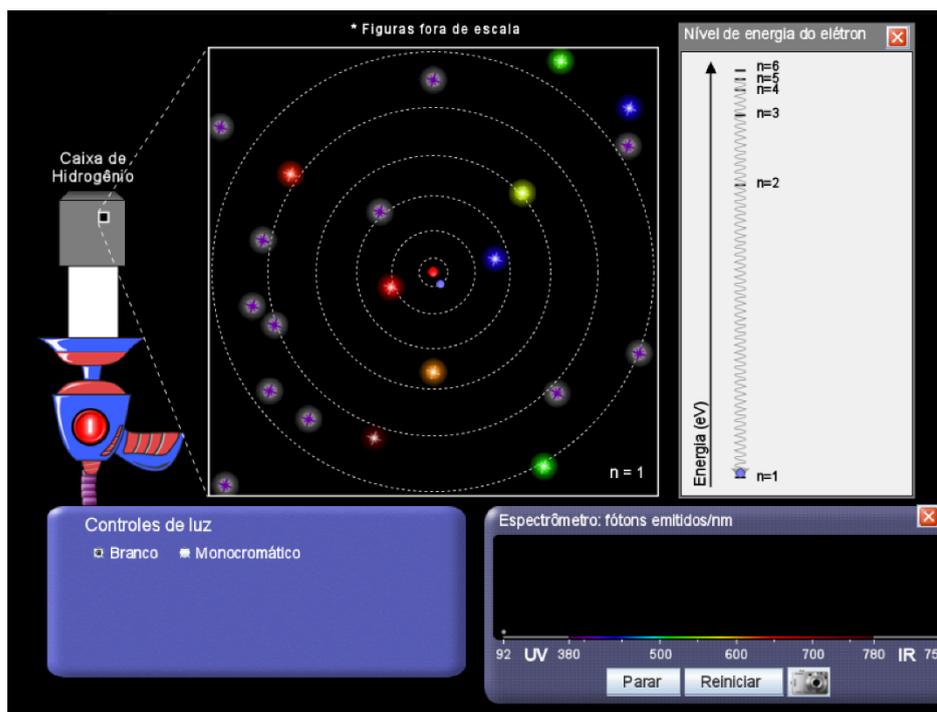
- A configuração do núcleo do modelo atômico.
- A existência de nêutrons no núcleo do modelo atômico.
- A forma como o elétron se movimenta na eletrosfera do modelo atômico.

3 - A figura abaixo, de acordo com a simulação 'Modelos do átomo de Hidrogênio', representa o modelo atômico descrito por:



- Niels Bohr
- Schrödinger
- De Broglie

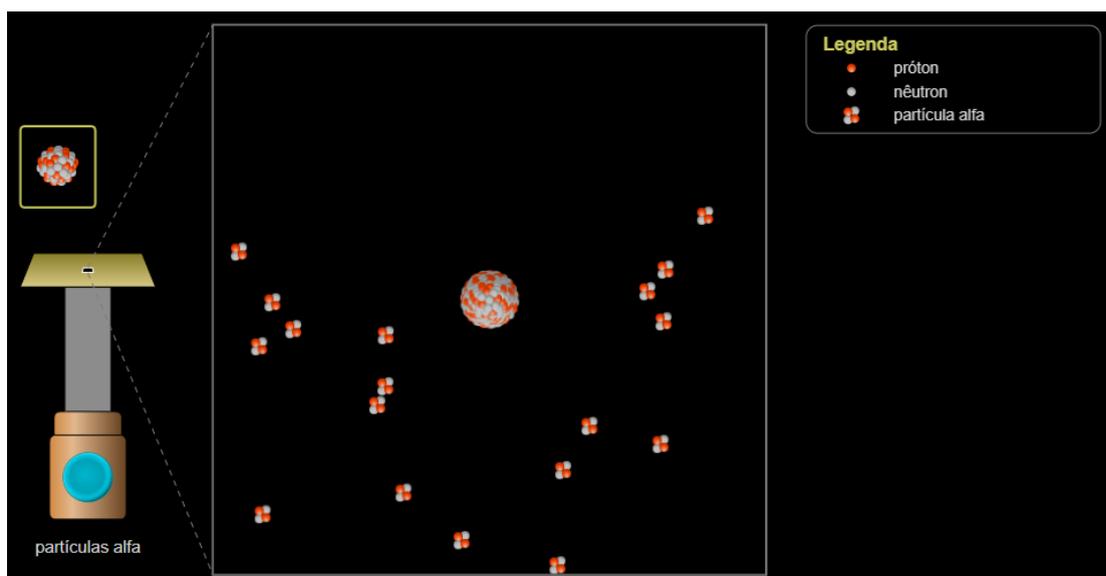
4 - "A imagem abaixo mostra o elétron 'saindo' da camada $n=6$ para a camada $n=1$, após liberar um fóton no comprimento de onda do ultravioleta". Julgue essa afirmação como verdadeira ou falsa:



Verdadeira.

Falsa.

5 - A imagem abaixo representa o experimento realizado por Ernest Rutherford, o que o ajudou a construir o seu modelo atômico, com relação a isso, o experimento realizado por Rutherford fez com que:

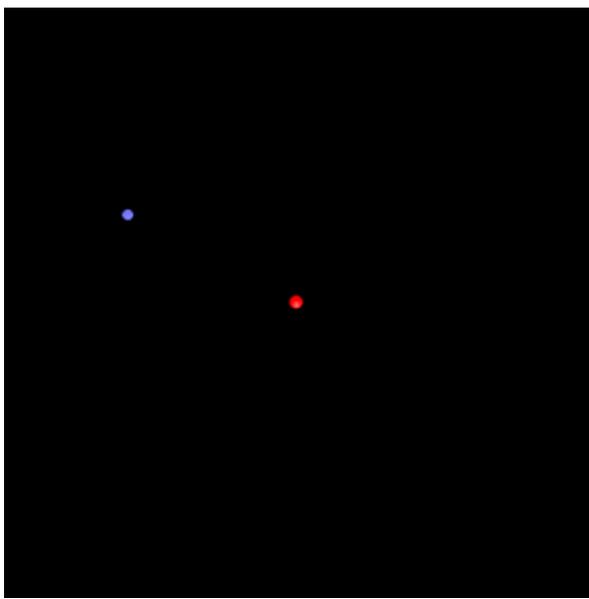


A configuração de eletrosfera fosse alterada em seu modelo atômico.

A configuração de eletrosfera fosse alterada em seu modelo atômico.

O conceito de nêutron fosse incorporado em seu modelo atômico.

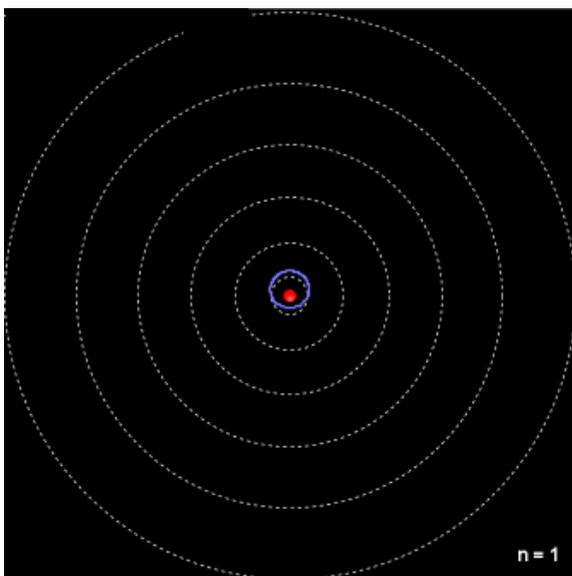
6 - "Os diferentes modelos atômicos podem ser classificados em modelos clássicos e quânticos. De acordo com a figura abaixo, podemos classificar o modelo representado como quântico". Essa afirmação é falsa ou verdadeira?



Falsa

Verdadeira.

7 - A figura abaixo, de acordo com a simulação 'Modelos do átomo de Hidrogênio', representa qual modelo atômico?

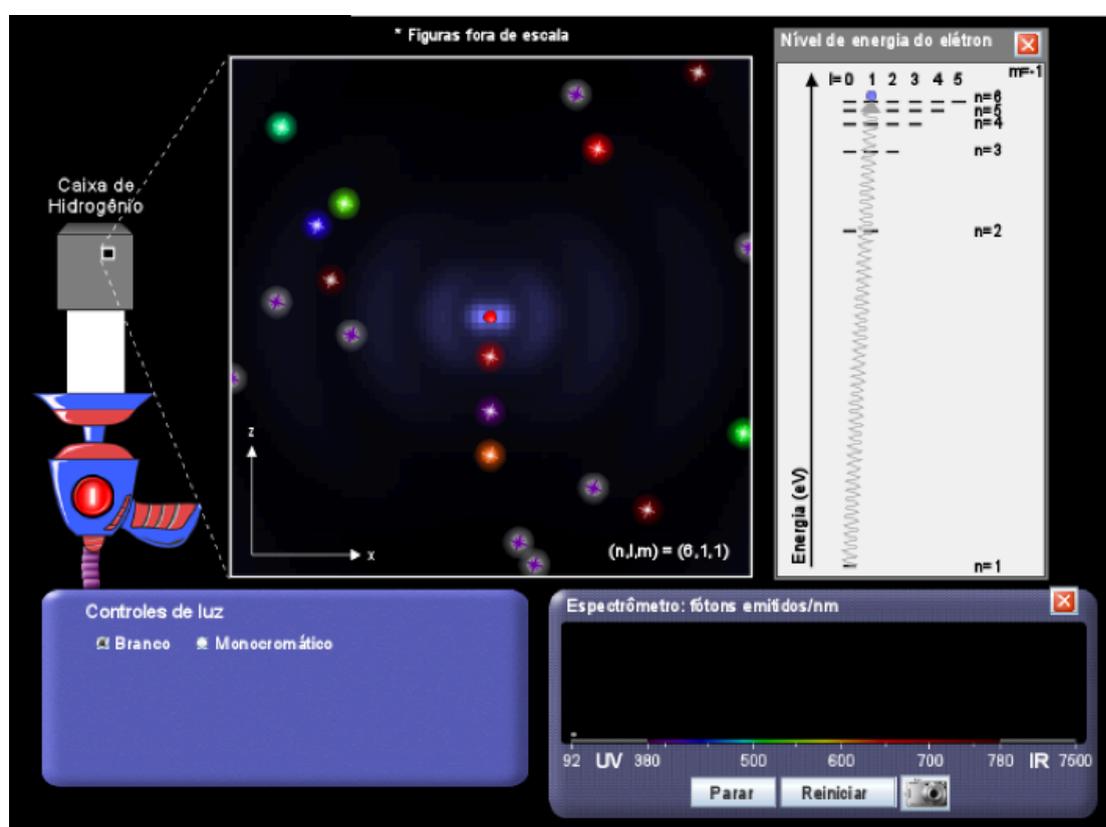


Niels Bohr

Schrödinger

De Broglie

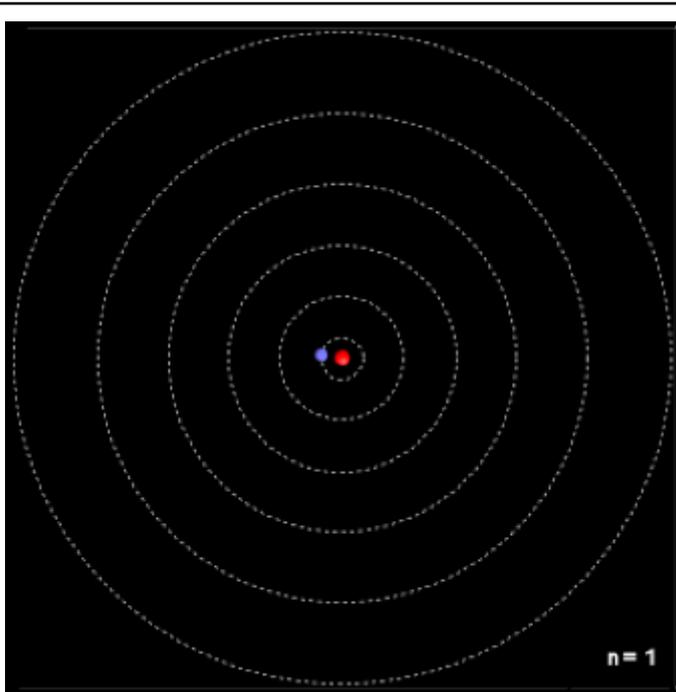
8 - "Na imagem abaixo vemos o átomo de Schrödinger representado, no qual a região em azul mostra o orbital, que é definido como a região de maior probabilidade de encontrar o elétron. Nessa situação o elétron muda de orbital, saindo de $n=1$ e $l=0$, para $n=6$ e $l=1$ ". Julgue essa informação como verdadeira ou falsa:



Verdadeira.

Falsa.

9 - A figura abaixo, de acordo com a simulação 'Modelos do átomo de Hidrogênio', representa qual modelo atômico?



- Rutherford
- Niels Bohr
- Schrödinger

10 - A principal diferença entre os modelos atômicos descritos por De Broglie e Schrödinger está relacionada:

- A forma como é definida a eletrosfera do modelo atômico.
- A configuração do núcleo do modelo atômico.
- A existência de nêutrons no núcleo do modelo atômico.

APÊNDICE D - ATIVIDADE 4

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
COLÉGIO DE APLICAÇÃO



Olá a todos!

Essa avaliação final tem como objetivo avaliar o que vocês compreenderam sobre o que foi discutido e apresentado no tópico Modelos Atômicos. É muito importante que vocês leiam as questões com atenção antes de responder. A atividade é composta por 10 questões, e valerá nota de avaliação com peso 10,00. Todas as perguntas devem ser respondidas de forma completa, por isso atenção ao que é pedido no enunciado. No caso em que é pedido texto e diagrama (desenho), estes devem ser construídos por vocês, sem cópias de qualquer outro material.

Critérios para avaliação:

- 1) Apresentar corretamente os conceitos científicos discutidos em aula.
- 2) Desenvolver a explicação de sua resposta corretamente.
- 3) Responder utilizando texto e diagrama (desenho) quando o enunciado solicita.
- 4) Apresentar coerência no que é exposto no texto e diagrama (desenho).
- 5) Justificar a resposta quando solicitado.

Não esqueçam de identificar as respostas de acordo com a questão que estão respondendo.

Boa Sorte!

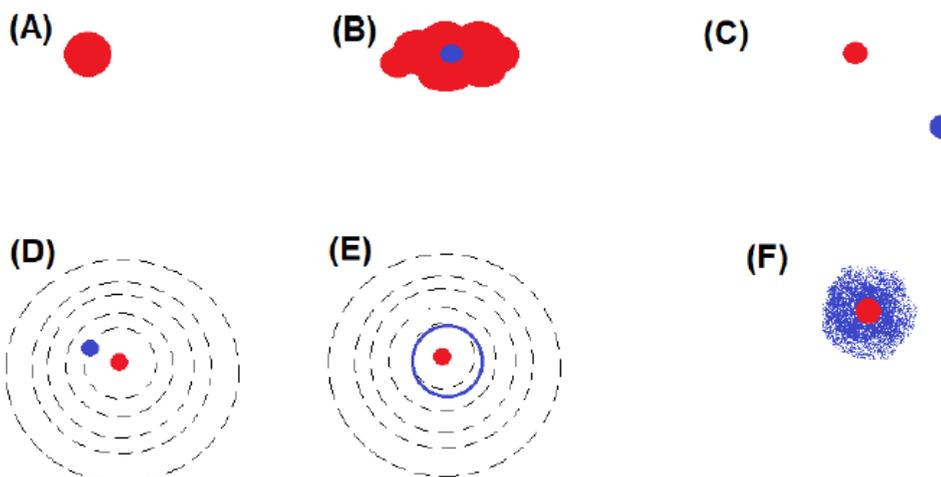
AVALIAÇÃO – Testando o que você aprendeu!

Química - 1º ano do Ensino Médio

Nome: _____

- 1) O que você entende por átomo? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta.
- 2) O átomo que você apresentou na questão anterior, corresponde à representação de algum elemento químico? Caso sim, qual elemento?
- 3) Existe alguma maneira de enxergar o átomo? Justifique sua resposta.
- 4) Na imagem abaixo escolha a ou as representações que você acredita que podem simbolizar e caracterizar o átomo de Hidrogênio, para isso basta

responder informando a(s) letra(s) selecionadas por você. Justifique o motivo da(s) sua(s) escolha(s).



Legenda: em vermelho a representação da região positiva do átomo (próton); em azul as regiões negativas (elétrons); as linhas tracejadas nas figuras (D) e (E) representam os níveis de energia.

- 5) Você considera que há apenas uma forma de representar o átomo? Justifique sua resposta.
- 6) O que você entende por elétron? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta.
- 7) Para você o elétron faz parte do átomo? Caso você entenda que sim, em qual lugar ele estaria?
- 8) O que você entende por eletrosfera?
- 9) O que você entende por núcleo atômico? Utilize texto e desenho/diagrama para representar e explicar sua resposta.
- 10) Agora utilizando a simulação do PhET, siga as instruções para responder à pergunta a seguir.
 - i) Abra a simulação PhET, selecione a função Experimento.
 - ii) Desative a função play.
 - iii) Selecione a opção monocromática.
 - iv) Arraste a seta cinza até que o comprimento de onda esteja ajustado em 103 nm.

- v) Selecione a opção mostrar espectrômetro.
- vi) Ative o canhão de emissão de luz.
- vii) Ative a função play e observe a simulação por no mínimo três minutos.
- viii) Desative a função play e faça uma captura de tela.

Com base na sua observação, apresente um modelo para explicar o que está acontecendo dentro da caixa que contém o gás de Hidrogênio. Para responder utilize texto e desenho/diagrama. Inclua também um printscreen da tela da simulação.