

MODELAGEM ATÔMICA: O ELO ENTRE EXPERIMENTAÇÃO E SIMULAÇÕES VIRTUAIS NO ENSINO DE QUÍMICA

Atomic modeling: The link between experimentation and virtual simulations in teaching chemistry

Leonardo Alexandre Veltrone [leoveltrone@gmail.com]

Ana Cristina Trindade Cursino [anacursino@utfpr.edu.br]

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Medianeira.
Avenida Brasil, 4232 CEP 85884-000 - Caixa Postal 271 - Medianeira - PR - Brasil*

Jaime da Costa Cedran [jccedran@uem.br]

Universidade Estadual de Maringá. Av. Colombo, 5790 – Jd. Universitário, Maringá-PR

Recebido em: 30/10/2020

Aceito em: 26/09/2021

Resumo

Na educação básica, a apresentação dos modelos atômicos, segue, muitas vezes, uma ordem cronológica e não problematizada pelo professor. Dessa forma, não fica claro até que momento é possível ou não trabalhar com um determinado modelo e quais as necessidades científicas que levam à elaboração de um modelo mais aprimorado. Baseando nisso, o presente trabalho teve como objetivo relacionar os modelos atômicos com outros conceitos químicos utilizando atividades teóricas, experimentais e virtuais, bem como verificar como os estudantes assimilam os níveis de representações do conhecimento químico pelas modelagens de átomos para as reações de combustão. Para isso foi elaborada e aplicada uma Sequência Didática (SD): Intitulada “Experimentações e simulações, o caso da combustão”. Como eixo central foi trabalhado as representações que os estudantes assimilam sobre o Fogo (macroscópica, submicroscópica e simbólica) na qual a contextualização dos modelos atômicos está em interação a conceitos químicos, como: reações químicas, fórmulas químicas, balanceamento de equações e transições eletrônicas, por meio de atividades experimentais e simulações virtuais. Após aplicação da SD, notou-se que os estudantes interagiram nas aulas experimentais e os relatos feitos por eles mostram como associaram determinados fenômenos químicos no campo das representações a nível simbólico das experiências no cotidiano. Muitos questionamentos apresentados pelos estudantes revelam que associaram o nível simbólico aos fenômenos macroscópicos, sendo que muitas concepções trazidas por eles fazem sentido dentro da proposta de estudo das combustões. As simulações virtuais permitiram criar ambientes que ampliaram as possibilidades de interação e representação aos níveis do conhecimento, permitindo aos estudantes a capacidade de modelagem a nível atômico, aproximando ao nível submicroscópico, pela visualização e interatividade dos modelos.

Palavras-chave: Representações, Modelo, Ensino.

Abstract

In high school, when teachers explain about atomic models often follow a chronological order and they do not relate atomic models with other chemical concepts. Due to this, it is not clear when they need to use a particular model and when it needs to be replaced to improved atomic model. Based on this, the present work aims to correlate atomic models with other chemical concepts using theoretical, experimental and virtual activities. Beside this was verified how students assimilate the concepts of chemical representations by modeling atoms for combustion reactions. To this, a Didactic Sequence (SD) was created applied, The Didactic Sequence (SD) was denominated: Experiments and Simulations, The Case of Combustion. It was worked the representations that

students assimilated about Fire (macroscopic, submicroscopic and symbolic) with concepts about atomic models in interaction with other chemical concepts, such as: chemical reactions, chemical formulas, equation balancing and electronic transitions. To develop this, it was using experiments and virtual simulations. After SD application, it was observed better interaction of the students in the experimental classes. The student's questions reveal that they associated the symbolic level (chemical phenomena) with macroscopic representations and many conceptions could be related within the proposal of combustion study. Virtual simulations provided to the students the ability to understand the atomic concepts, approaching the submicroscopic representational level, through the visualization and in interactivity of the models.

Keywords: Representations, Atomic Model, Teaching.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos dias atuais, para ser professor, é preciso considerar a existência de diferentes metodologias, que podem auxiliar na aprendizagem dos estudantes, assim como perceber, que a construção dos conhecimentos se dá de forma coletiva e horizontal, o que se afasta de uma proposta de ensino estanque, transmissiva e firmada apenas na apresentação de conteúdo (SOUZA, 2018; SOUZA, 2020). O modelo mais comumente utilizado nas escolas é o modelo tradicional, no qual o professor é o sujeito ativo e transmite os seus saberes, geralmente, por meio de aulas teóricas e expositivas. Saviani (SAVIANI, 2008) faz crítica a esse Modelo Tradicional de Ensino, ao se posicionar descrevendo que as escolas que adotam esse modelo se organizam em classes padronizadas, cada uma com um professor que apresenta suas aulas/lições de forma expositiva, enquanto os alunos disciplinadamente devem segui-lo, de forma a serem capazes de resolver os exercícios propostos. Outro modelo utilizado pelos professores é o construtivista. Nesse método, diferente da forma tradicional, o aluno é o sujeito ativo no processo de ensino e aprendizagem, e o professor age como um agente facilitador que orienta o aluno a buscar ativamente pelos conceitos requeridos (CHAHUÁN-JIMÉNEZ, 2009).

Conforme salienta Quinto e Ferracioli (2008), o ser humano tende a criar modelos para melhor compreender o mundo em que vive. Dentre os diversos modelos utilizados para a compreensão de conceitos químicos, trataremos, em específico, dos modelos atômicos, pois, segundo Lima, Silva e Matos (2010), este é um dos assuntos que causam significativa aversão à química enquanto disciplina do ensino médio, por parte dos alunos recém-chegados a este nível de ensino.

Melo e Lima Neto (2013) ressaltam que muitas vezes os modelos atômicos são apresentados seguindo uma ordem cronológica não problematizada, sendo exposta uma análise histórica descontextualizada e, que pode gerar incompreensões na aprendizagem. A discussão é fundamental, já que a química está baseada em modelos, atômicos, moleculares, de reações, matemáticos, onde essa ideia não é contemplada pelo docente, pela maioria dos livros didáticos e, conseqüentemente, pelo aluno (MELO; LIMA NETO, 2013).

Desse modo, é imprescindível que os estudantes compreendam que os modelos são construções provisórias e que podem ser aperfeiçoados. A ciência não é algo acabado, mas construída com base na constante evolução científica, e modelos teóricos elaborados esbarram em limitações ao explicar o que é observado macroscopicamente, exigindo a criação de novos modelos e leis (MELO; LIMA NETO, 2013). Desta forma, não fica claro até que momento é possível ou não trabalhar com um determinado modelo, quando é necessário um conhecimento mais amplo e quais as necessidades reais que levaram à elaboração de um modelo mais aprimorado. Para Rocha e Cavicchioli (2005), o problema se deve à dificuldade, por parte dos

estudantes, pela falta de referenciais adequados que os ajudem a materializar esse nível de abstração.

Os modelos são importantes para a compreensão de conceitos químicos, porém eles por si só não são suficientes para o entendimento de fenômenos atrelados à ciência em questão. É fundamental vincular determinado modelo (e a base teórica a ele relacionada) com a explicação de fenômenos observáveis, além da simbologia adequada para representá-lo. Nesse sentido, nos apoiamos em Johnstone (2000) quando afirma que, no processo de compreensão do conhecimento químico, estão envolvidos três diferentes aspectos: macroscópico, submicroscópico e simbólico.

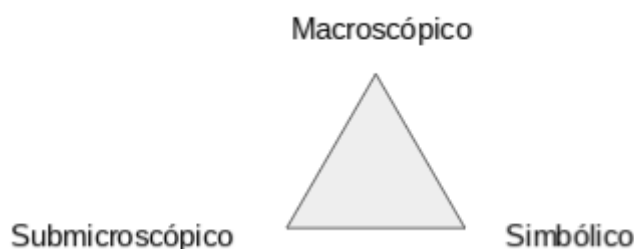


Figura 1: Níveis do conhecimento químico propostos no triângulo de Johnstone.

Fonte: Adaptado de Johnstone (2000)

O nível macroscópico é uma descrição da situação empírica, o nível submicroscópico pode explicá-la pelo modelo teórico e o nível simbólico, representa a transformação química por fórmulas e equações. Grande parte das dificuldades da aprendizagem em Química se deve ao fato de que, o processo de ensino e aprendizagem, se dá quase que exclusivamente em apenas uma das arestas do triângulo (macroscópico e simbólico), deixando de lado aspectos mais estruturais (correspondente ao vértice do submicroscópico) privando o aluno da sua capacidade de modelagem. (JOHNSTONE, 2000).

De acordo com Wu, Krajcik e Soloway (2001) no nível macroscópico, os fenômenos são observáveis e, no submicroscópico, o fenômeno químico é explicado por meio do arranjo e movimento de moléculas, átomos, íons, elétrons ou outras espécies subatômicas. A química no nível simbólico refere-se tanto a representações simbólicas de átomos e moléculas, quanto a símbolos químicos, por exemplo, fórmulas, equações e estruturas. Assim, para obter uma boa compreensão da química, é necessário conhecer esses níveis de representação, bem como transitar entre eles.

Mortimer, Machado, Romanelli (2000) redimensionam os níveis de representação de Johnstone, na literatura sobre Educação Química no Brasil, sendo definidos como os “três aspectos do conhecimento químico”: fenomenológico ou empírico, teórico ou “de modelos” e representacional ou da linguagem. Colocam-nos que esses três componentes: fenômeno, linguagem e teoria devam comparecer nas interações em sala de aula, uma vez que, a produção de conhecimento em ciências resulta sempre da relação dinâmica/dialética entre experimento e teoria, pensamento e realidade. Relação que só é possível por meio da ação mediadora da linguagem.

Chittleborough, Treagust (2007) investigaram o papel dos modelos físicos como instâncias mediais simbólicas, concluindo que os modelos físicos desempenham um papel fundamental para que os alunos estabeleçam relações entre os níveis de representação macroscópicos e submicroscópicos. Chandrasegaram, Treagust, Mocerino (2007), que também empregaram os níveis de representação de Johnstone como referência, mostraram que os estudantes são capazes de manipular os três níveis de representação, mas que há necessidade de múltiplos meios de comunicação para facilitar a aprendizagem.

No âmbito escolar, quando discutido em sala de aula sobre a temática atomística, os modelos utilizados por professores para o aporte dos conceitos teóricos partem da contextualização histórica seguindo uma ordem cronológica não problematizada (MELO, 2013). Sendo assim, nesta investigação, foi proposto utilizar diferentes instrumentos pedagógicos para relacionar os modelos atômicos com conceitos químicos, como: fórmulas químicas, balanço de equações e transições eletrônicas, por meio de atividades experimentais e virtuais. Neste sentido, será verificado na pesquisa como os estudantes assimilam os níveis de representações do conhecimento químico (JOHNSTONE, 2000) pelas modelagens de átomos para as reações de combustão. Para isso foi elaborada e aplicada uma sequência didática (SD) com base nos pressupostos de Zabala e Arnau (2010), na qual foram planejados diferentes momentos incluindo atividades experimentais, utilização de simuladores e aplicativos (TIC's), dentre outras, aplicada para estudantes do ensino médio, a fim de investigar como a SD aplicada pode auxiliar no entendimento dos fenômenos estudados em relação aos três aspectos do conhecimento químico.

METODOLOGIA

A pesquisa realizada tem caráter qualitativo, e foi designada como pesquisa-ação, que, segundo Thiollent (2009), é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLLENT, 2009). Devemos ressaltar que a pesquisa-ação não aprimora apenas a forma como se intervém na prática, mas implica também em uma compreensão da prática por meio de sua melhora (TRIPP, 2005).

-Produto educacional: Sequência didática (SD)

As ferramentas educacionais sugeridas nesta investigação são uma possibilidade de transição dos modelos tradicionais de ensino para a construção de formas alternativas e significativas de ensinar os conceitos de química. Deste modo, a fim de explorar as potencialidades do uso das novas metodologias para a educação em química, sobre fenômenos atômicos e modelagem dos processos reacionais, bem como para proporcionar o desenvolvimento da capacidade de representação dos modelos atômicos em distintos níveis conceituais, elaborou-se como produto educacional aplicado de pesquisa a SD: Experimentações e modelagens, o caso da combustão.

A SD foi aplicada em duas turmas do ensino médio. Na primeira turma, estavam matriculados 35 alunos, da 2ª série, de uma escola pública estadual do oeste do estado do Paraná, e a segunda turma, 30 alunos em sala interseriada (1ª, 2ª e 3ª séries) de uma escola particular da mesma localidade (a escolha da turma interseriada deve-se ao fato do professor-pesquisador trabalhar nesse modelo escolar). Todos pertencentes à faixa etária de 15 a 17 anos, ambas do turno matutino. Essa escolha proposta de turmas para a pesquisa deve-se ao fato de o professor-pesquisador lecionar e ter facilidade na interação dessas turmas. No espaço físico escolar, ambas possuíam laboratório de ciências para realização dos experimentos, com reagentes e capela de exaustão de gases. A escola particular contava também com laboratório de informática com 30 computadores e internet acessível aos alunos em todos os espaços da instituição. A escola pública estadual em seu laboratório de informática, contava com 6 (seis) computadores e alguns pontos de acesso à internet (oscilante).

Em ambas as escolas foram utilizados 5 encontros para aplicação da SD desenvolvida, e a descrição de cada um deles é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: SD - Experimentações e modelagens, o caso da combustão.

Aula Tema	Conteúdos abordados	Objetivos	Estratégia de ensino/Recursos
AULA 1 Fogo e átomo. Tempo: 1 aula 50 min	Representações do fogo. -Modelo atômico de Dalton.	-Relacionar os diferentes contextos da história do fenômeno fogo com as distintas representações sociais atuais. -Representar átomos e moléculas por meio de modelos (esférico).	Atividade de leitura textual, de caráter reflexivo sobre o fenômeno fogo. Contextualização sobre modelo para o conceito de átomo. Momento para coleta dos conhecimentos prévios dos alunos.
AULA 2 Combustão e Ambiente virtual. Tempo estimado: 2 aulas (1h40 min)	-Reações químicas -Equações químicas -Reagentes e Produtos -Fórmulas químicas -Balanceamento de equações	-Construir moléculas simples a partir do modelo atômico de Dalton. -Reconhecer que o número de átomos de cada elemento é conservado em uma reação química. -Descrever a diferença entre os coeficientes e os índices em uma equação química. -Balancear por modelagem atômica uma equação química de combustão.	1º momento: Experimental Laboratório de ciências Experimentação Cores das chamas Diferenças: GLP X Parafina 2º momento: Simulações Ambiente Virtual Modelagem atômica: simulações PhET - Simulador usado: 1) Construa uma molécula e 2) Balanceamento de equações químicas
AULA 3 Modelagem atômica com celular Tempo estimado: 1 aula (50 min)	-Aspectos introdutórios sobre Hidrocarbonetos	-Visualizar estruturas tridimensionais de moléculas orgânicas em processo reacional, pela utilização de aplicativo de celular (QuimicAR)	Simulações virtuais: Atividade com telefone móvel (celular). Reação de combustão do Metano. Modelagem molecular por aplicativo de celular. QuimicAR - ChemistryAR Interatividade em grupo ou individual.
AULA 4 Proporções químicas e modelos atômicos. Tempo estimado: 2 aulas (1h40min)	-Compostos orgânicos Álcoois. -Cadeia Carbônica. -Formas estruturais.	-Observar as chamas das reações de combustão dos álcoois. -Diferenciar chamas de pré mistura e chamas de difusão - Modelagem atômica virtual de moléculas de compostos orgânicos: Alcoóis. -Representar estrutura química das moléculas do Álcool pelo modelo atômico de Dalton (esférico)	1º momento: Experimental Laboratório de ciências Experimentação: Combustão de alcoóis: Metanol, Etanol e Propanol. 2º momento: Simulações Ambiente virtual. Construa uma molécula a. Metanol b. Etanol c. Propanol
AULA 5 Cores da chama e simulações animadas. Tempo estimado: 2 aulas (1h40min)	-Transição eletrônica. -Modelo atômico Bohr.	-Observar as chamas e cores produzidas pelos sais metálicos no teste de chama. -Interagir com simulações atômicas animadas. -Verificar a relação entre a imagem física das órbitas e o diagrama de nível de energia de um elétron utilizando simulações.	1º momento: Experimental Laboratório de ciências Experimentação Teste de chama de sais metálicos. a) Carbonato de Cálcio b) Sulfato de Cobre c) Cloreto de Sódio 2º momento: Simulações Ambiente Virtual Modelagem-modelos atômicos: a) A química das cores dos fogos de artifício (Labvirt - USP) Simulações PhET: b) Monte um átomo c) Modelos para o átomo de hidrogênio.

Fonte: Autoria própria.

A elaboração da cada estratégia de ensino levou em consideração os conhecimentos prévios dos estudantes e os conceitos que já haviam sido discutidos em outros momentos escolares ou por meios de vivências cotidianas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Aula 1- Fogo e átomo

Conforme definido no quadro 1 aplicou-se inicialmente o teste diagnóstico, que relaciona os diferentes contextos da história do fenômeno fogo as ideias sobre os átomos em elo as distintas representações sociais e científicas. As atividades foram baseadas em leitura textual, de caráter reflexivo, momento para coleta dos conhecimentos prévios dos alunos. Esta aula teve por objetivo identificar como o termo "fogo" se apresenta nas concepções de estudantes participantes da pesquisa. Os dados foram obtidos a partir do questionamento "O que é fogo?" aplicado a 65 estudantes, utilizando-se da técnica de evocação livre de palavras, sem hierarquização. Os dados obtidos a partir das questões de livre evocação de palavras permitiram ao pesquisador identificar e compreender as relações estabelecidas por estes estudantes, associando múltiplos sentidos a essa palavra. De modo geral, as respostas citadas pelos estudantes foram compiladas em formato *wordclouds* (nuvem de palavras).

Na nuvem de palavras, cada palavra tem seu tamanho regido pela relevância em determinado corpo de texto. Geralmente se trata de contagem simples das ocorrências de determinada palavra no texto. Uma palavra citada 20 vezes vai ter um tamanho proporcionalmente maior do que uma palavra citada 10 vezes.

A figura 2 indica as representações do fogo, citadas pelos estudantes, oriundas das relações e vivências ao conhecimento de senso comum e do cotidiano.

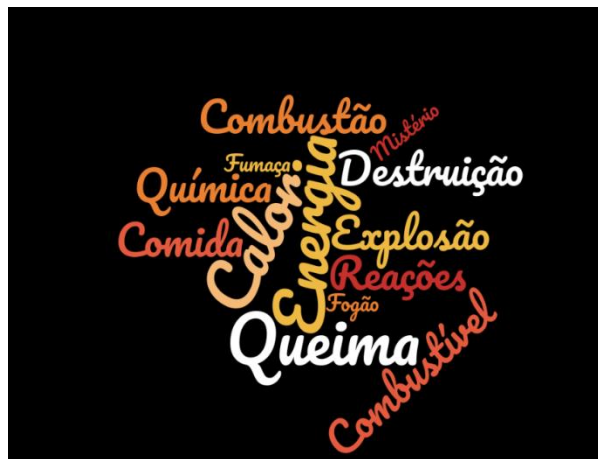


Figura 2: Representações do fogo citadas pelos estudantes no formato *wordcloud*. (diagnóstico)

Fonte: Autoria própria.

As nuvens de palavras foram apresentadas aos estudantes para visualizarem as palavras que transitam com maior frequência na descrição do termo fogo em associação ao nível de representação química que trazem consigo.

Para a representação "fogo" foram citadas as seguintes palavras: Energia (15 alunos / 23%), Queima (11 alunos / 17%), Calor (11 alunos / 17%), Explosão (7 alunos / 11%), Reações (5 alunos / 8%), Química (5 alunos / 8%), Destruição (2 alunos / 3%), Combustível (2 alunos / 3%), Combustão (2 alunos / 3%), Comida (2 alunos / 3%), Fumaça (1 aluno / 2%), Fogão (1 aluno / 2%), Mistério (1 aluno / 2%).

A química depende de uma articulação constante entre os níveis do conhecimento: o mundo fenomenológico em que vivemos; o nível molecular e a linguagem química. Na análise anterior, sobre as representações que estudantes de química têm sobre o fogo, pela livre evocação de palavras, em relação aos níveis de representações, constata-se que os estudantes associam suas ideias, quase que em apenas uma aresta do triângulo (macroscópico e simbólico), deixando de lado aspectos mais estruturais (correspondente à aresta do submicroscópico), deste modo, privando-o da sua capacidade de modelagem. Para sanar tais ausências de aprendizagem apresentadas ao nível submicroscópico, a sequência didática aplicada, propõe mediar os três níveis de representação em Química, pela divisão entre o nível macroscópico (experiências), o submicroscópico (modelagem de átomos e moléculas) e simbólico (visualização de fórmulas e equações químicas).

Nesta perspectiva, as experiências incluem nosso conhecimento descritivo de substâncias e transformações químicas, adquirido de forma direta (pelos sentidos) ou indireta (usando instrumentos). Experiências remetem ao conhecimento empírico atual que se tem sobre os sistemas químicos.

Os modelos incluem o descritivo, explicativo e modelos teóricos que os químicos desenvolveram para dar sentido ao mundo experimental. Modelos se referem às entidades teóricas e às suposições subjacentes que são descritas como sistemas químicos atribuindo a eles algum tipo de estrutura interna, composição, mecanismos explicativos ou preditores das várias propriedades desses sistemas. (TALANQUER, 2011). Ainda segundo Talanquer (2011) a visualização são sinais visuais estáticos e dinâmicos (de símbolos para ícones) desenvolvidos para facilitar o pensamento qualitativo e quantitativo e a comunicação sobre experiências e modelos em química. Visualização remete aos símbolos químicos, fórmulas, desenhos de partículas, equações matemáticas, gráficos, animações, simulações e modelos físicos usados para visualizar os componentes representacionais do modelo teórico.

A vivência de situações reais é de grande relevância para a compreensão e correlação dos diversos conteúdos e teorias por ela apresentada. As experiências desenvolvidas nesse trabalho têm o objetivo de despertar no aluno um maior interesse vinculado à construção do fenômeno fogo, com a possibilidade de promover discussões e investigações que permitam um enriquecimento de seus conhecimentos prévios. Deste modo, a experimentação possibilita o elo entre os níveis de abordagem em que o conhecimento químico é expresso. De acordo com Oliveira (2010), a Experimentação apresenta algumas contribuições tais como: despertar a atenção dos alunos, desenvolver trabalhos em grupo, analisar dados, propor hipóteses para os fenômenos, entre outros.

- Aula 2 - Combustão e Ambiente virtual

A atividade inicial tem caráter experimental demonstrativo pelo docente na queima da vela e queima gás de cozinha. As atividades experimentais foram realizadas nos laboratórios de ciências das escolas. Deste modo, o professor assume o papel inicial da aula proposta com o manejo dos combustíveis e, posterior combustão, não deixando de lado a participação dos alunos no desenvolvimento. Posterior à visualização dos processos de cor de chama pelos estudantes, o professor problematiza para os estudantes o porquê de algumas chamas possuírem cores distintas. “Se o fogo é resultado de uma reação de combustão, por que algumas chamas possuem cores diferentes?” (visto a cor da chama da queima da vela e do gás de cozinha). A partir desse prévio questionamento, o professor pode melhor relacionar os conceitos químicos de aprendizagem com as informações prévias dos estudantes.

Das múltiplas respostas dos 65 estudantes, foram selecionadas para discussão conceitual na aprendizagem, aquelas que apareceram com maior frequência. Desta forma, o pesquisador pode verificar quais conceitos químicos os alunos já assimilavam, para assim, relacioná-los com a descrição e composição da aula.

Pela citação dos estudantes à indagação inicial, as respostas foram organizadas e categorizadas por temáticas atribuídas aos combustíveis, sendo elas: Classificação dos combustíveis (20%), Composição dos combustíveis (18,5%), Estado físico dos combustíveis (35,4%), Influência do ambiente nas reações (23,1%) e outros (3%), conforme observado no Quadro 2.

Quadro 2: Temáticas científicas relacionadas às falas dos estudantes pela cor da chama na queima do gás de cozinha x queima da vela

Descrição do fenômeno cor da chama observada pelos estudantes	Temáticas científicas verificadas pelo pesquisador a serem desenvolvidas	% estudantes
<p>“Por causa dos elementos químicos que compõe os diferentes gases”.</p> <p>“Cada composição química tem suas propriedades, quando em combustão ou em contato com o fogo gera sua coloração específica”</p>	Composição dos combustíveis	(18,5%)
<p>“Porque o combustível é diferente, daí a cor fica diferente”.</p> <p>“Porque cada combustível faz o fogo ter uma cor”.</p>	Classificação dos combustíveis	(20%)
<p>“Porque a chama do fogão é composta pelo gás de cozinha e a da vela é pela parafina sólida”.</p> <p>“Porque no fogão, possui o gás que é liberado continuamente até apagar e a vela tem aquela cera que faz o fogo continuar”.</p>	Estado físico dos combustíveis	(35,4%)
<p>“O fogo pode mudar de cor dependendo dos elementos que estiverem ao redor, mudando de acordo com o clima e lugar, etc”.</p> <p>“Muda por causa do oxigênio, pois o gás de cozinha é bem diferente e pelos seus componentes ele dá uma outra tonalidade ao fogo”.</p>	Influência do ambiente nas reações.	(23,1%)

Fonte: Autoria própria.

A maioria dos estudantes transita na linguagem científica, porém em suas falas sobre a cor das chamas, não possui as representações a nível atômico (submicroscópico) e não conectam de forma contextualizada os saberes químicos às reações de combustão. Essa dificuldade de compreensão dos fenômenos Químicos é causada, em parte, conforme descreve Gibin e Ferreira (2013) em razão da exploração praticamente exclusiva do nível de conhecimento simbólico em aulas de Química ao invés do nível microscópico.

Na sequência, o professor contextualiza as temáticas científicas em elo ao processo de combustão, instigando e motivando os alunos a correlacionarem a teoria e a experimentação. Wartha e Alário (2005) argumentam que Química Contextualizada é aquela que apresenta certa utilidade para o cidadão, e assim sendo, a aplicação do conhecimento químico pode ser muito útil para compreender alguns fenômenos. Então, ensinar Química de forma contextualizada seria abrir as janelas da sala de aula para o mundo, promovendo relação entre o que se aprende e o que é preciso para a vida (CHASSOT, 1993).

A forma como a atividade é encaminhada, às discussões levantadas, dentre outros fatores são essenciais para a construção do conhecimento. Para Gaspar e Monteiro (2005) embora a interação entre os alunos não seja tão favorecida, este tipo de experimento utilizado de forma questionadora, pode favorecer uma estreita ligação entre os alunos e o professor; e tal interação social também cria um ambiente propício à aprendizagem.

As reações de combustão incompletas produzem menor energia que a combustão completa. Isso explica a diferença entre as cores das chamas, pois a chama amarela, característica da combustão incompleta, é de menor energia. Já a chama azul é característica de uma combustão completa, com maior energia. Os estudantes puderam verificar que a diferença da cor de chama, também pode acontecer no mesmo combustível em combustão, caso não ocorra a proporção adequada com o oxigênio do ar.

Portanto, embora as atividades experimentais demonstrativas, muitas vezes, sejam fechadas e definidas pelo que se deseja abordar na aula, o professor, aqui ao adotá-la, propiciou oportunidades para que os alunos pudessem refletir sobre os fenômenos observados e a formularem hipóteses, para posterior, relacionarem com os conteúdos científicos que o explicam.

Para proporcionar aos estudantes o desenvolvimento da capacidade ao nível submicroscópico (atômico), aplicou-se como abordagem pedagógica, posterior a experimentação demonstrativa, as simulações virtuais de modelagens atômicas, atividade realizada no laboratório de Informática. Os aplicativos utilizados foram software do tipo simulação (PhET)¹ intitulados “Construa uma molécula” para montar de forma interativa moléculas a partir de átomos e “Balanceamento de equações químicas” para interagir com proporções atômicas nas reações químicas.

Segundo Clark e Chamberlain (2014) quando utilizado como ferramenta didática nas aulas de Química, o simulador PhET tem como principal resultado o desenvolvimento da capacidade de compreensão aos desafios científicos encontrados nos conteúdos escolares. Como recurso o software de simulação “Construa uma molécula” possibilitou a escolha, visualização e interatividade do modelo atômico de Dalton (esférico). Para ampliar o conhecimento sobre equações químicas (Figura 3), os estudantes montaram e organizaram moléculas de acordo com os reagentes e produtos das reações químicas de combustão (completa e incompleta). Para Mintzes, Wandersee e Novak (2000), parece inevitável que as simulações se tornem um modo mais importante de ensinar Ciência, além de um mecanismo de aprendizagem para o século XXI.



Figura 3: Alunos em interação com o software de simulação: Construa uma molécula (PhET).

Fonte: Autoria própria.

Posterior à modelagem virtual, os alunos acessaram o simulador denominado Balanceamento de equações químicas. A atividade consistiu em balancear equações químicas com foco nas reações de combustão e na interação das proporções dos reagentes e seus produtos.

O objetivo desse software é proporcionar aos alunos a possibilidade de balancear uma equação química observando o que acontece com os átomos e seus coeficientes sugeridos. Com

¹ O PhET (Physics Educacional Technology) é um software gratuito desenvolvido pela Universidade do Colorado (EUA) que oferece mais de 100 simulações de alta qualidade na área da matemática e das ciências.

isso, espera-se que o aluno possa desenvolver uma lógica intuitiva de balanceamento de equações químicas, conforme figura 4.

Um fato interessante deste software é que o mesmo apresenta as reações químicas de forma escrita (nível simbólico) e por um modelo molecular microscópico, representado por esferas de cores diferentes relativas aos átomos que formam as moléculas. Durante o balanceamento observa-se a formação ou decomposição das substâncias envolvidas em uma parte do monitor; ou seja, o aluno acompanha o efeito causado pela sua sugestão de coeficiente. Outro recurso importante são as balanças que simulam a proporção dos reagentes em relação aos produtos (nível macroscópico). Se as balanças estiverem equilibradas, no processo final de balanceamento, o software avisa que o balanceamento está correto. Assim, o aluno será conduzido a um novo desafio de balanceamento.

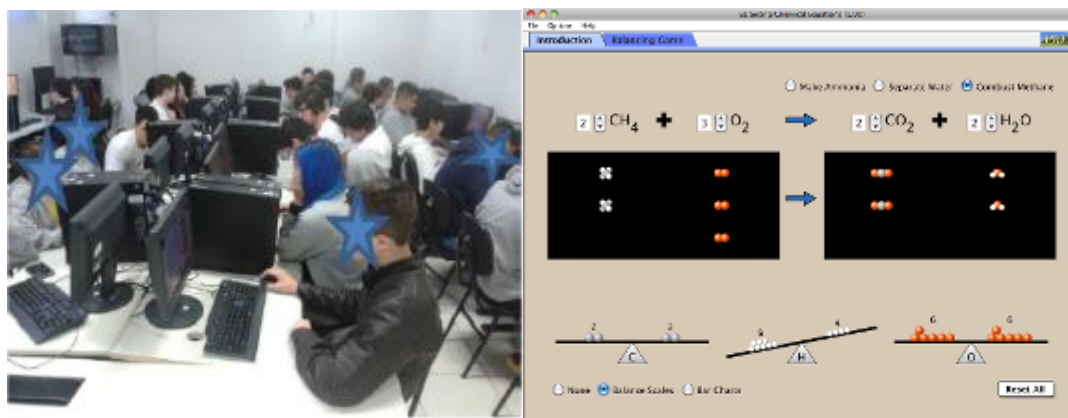


Figura 4: Alunos em interação com o software de simulação: Balanceamento de equações químicas (PhET).

Fonte: Autoria própria.

A estequiometria (grego *stoicheion* = elemento e *metria* = medida) é considerada um conceito básico para entender a diferença entre a química quantitativa e qualitativa. Na química a estequiometria é usada para mostrar aos alunos a rigidez das proporções combinadas das substâncias. Entender a estequiometria está diretamente relacionada à necessidade de compreender a linguagem matemática (PADILLA; GARRITZ, 2011), que descrevem os fundamentos da Lei de Lavoisier, sendo considerada como ferramenta essencial no entendimento da linguagem química (TASKIN; BERNHOLT, 2012). Dessa forma, o aprendizado do balanceamento químico é um passo importante para o entendimento da estequiometria (OLIVEIRA, 2012).

O software de simulação, no ensino de química, auxilia a compreensão de equações químicas, pois exige que o aluno tenha conhecimentos acerca de fórmulas químicas das substâncias envolvidas nas reações químicas (STANGHERLIN; UHMANN; BREEM, 2014).

Posterior às atividades de simulações virtuais, o professor-pesquisador indagou os estudantes com a seguinte questão: Qual sua percepção sobre a utilização dos softwares de simulações virtuais pelo modelo atômico de Dalton para a compreensão de conceitos químicos? Essa questão geradora de discussão foi dirigida aos estudantes para verificar possíveis dificuldades e aprendizagens com a utilização desses recursos. Alguns estudantes ressaltaram que dessa forma foi melhor para entender os conceitos, a fim de diferenciar átomos e elaborar de forma adequada as equações químicas com seus reagentes e produtos. Outros associaram esses recursos como ferramentas de aprendizagem dinâmicas em aula pelas imagens dos modelos e também puderam perceber essas tecnologias como elemento lúdico na aprendizagem.

As falas dos estudantes (33 estudantes, interação de grupo) foram organizadas e categorizadas de acordo com as percepções na modelagem atômica. (quadro 3).

Quadro 3: Categorias desenvolvidas no uso das modelagens atômica virtual pelos estudantes.

Descrição respostas dos estudantes ao questionamento (Anexo)	Categorias desenvolvidas pela modelagem virtual de átomos e moléculas	% dos estudantes
<p>“Para entender melhor, para saber diferenciar átomos e para entender melhor fazer uma reação química”.</p> <p>“ajuda na compreensão de como são as reações químicas, é mais fácil de entender os reagentes e produtos”.</p>	Contextualização dos conceitos químicos. (Reações químicas, reagente/Produto)	30,3%
<p>“Irá trazer uma maior experiência e conhecimento e entendimento do conteúdo”.</p> <p>“Eu acho uma boa ideia, muda que vai ajudar os alunos, os professores, vai ajudar no nosso aprendizado, as aulas vão ser mais rápidas do que ficar escrevendo no quadro”.</p>	Relação da aprendizagem dos conteúdos (Entendimento)	30,3%
<p>“Porque conseguimos ver uma imagem mais ampla”.</p> <p>“Para ter um modelo de como funciona, para ajudar na aprendizagem”.</p>	Ampliação visual (Imagem e Modelo)	21,2%
<p>“A tecnologia facilita na hora de descobrir ou achar algo, fazer uma conta ou algo relacionado”.</p> <p>“...quando temos essa parte mais prática e lúdico nos ajuda a armazenar tais assuntos”.</p>	Assimilação das tecnologias (Virtual)	18,2%

Fonte: Autoria própria.

Pelas categorias descritas, observou-se que o uso do simulador virtual como estratégia de ensino, potencializou a aprendizagem dos estudantes aos níveis de representações, possibilitando os estudantes transitarem entre o nível simbólico (visualização de fórmulas e equações) e microscópico (pela modelagem atômica). Pouco mais dos entrevistados (51,5%), apontam que ampliaram suas visões sobre as imagens e uso do modelo atômico em contextualização aos conceitos químicos sobre combustões. Os demais estudantes (48,5%) sinalizaram que o uso das tecnologias virtuais no ensino possibilita um melhor entendimento aos conteúdos propostos.

É importante ressaltar as hipóteses defendidas por Wu e Shah (2003) que enfatizam as múltiplas formas de representação do conhecimento químico que acarretam diretamente na compreensão da química. Para esses autores, representações visuais promovem um entendimento mais profundo e consistente dos fenômenos e conceitos estudados na área de química. Nesse contexto, representações da química eminentemente abstratas mostradas com o uso de softwares computacionais são importantes para os alunos compreenderem os níveis simbólicos, macroscópicos e microscópicos.

Para o processo de aprendizagem, é necessário que inicialmente se identifique os conceitos prévios existentes na estrutura cognitiva dos alunos. Deve haver uma interação entre os conceitos prévios e as novas informações a serem armazenadas. Os chamados conceitos prévios são os que influenciam na estrutura cognitiva do indivíduo. Nesse processo de aprendizagem os novos conceitos devem ser incorporados de forma não literal e organizados de forma não arbitrária. Segundo Moreira (2006) nessa perspectiva de aprendizagem, novas ideias e informações a serem aprendidas, baseia-se em conceitos específicos relevantes que são existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Este recurso reforçou com os estudantes a óptica ao nível submicroscópico das reações de combustão pela visualização e interação aos modelos atômicos.

Na estrutura da escola particular, cada aluno dispunha de um computador para sua interação com os simuladores virtuais. Já na escola pública, como dispunha de 6 computadores, os alunos realizaram as atividades de simulações virtuais em grupo. No caso da atividade elaborada em grupo, apesar da aproximação dos estudantes a esta estratégia de ensino (software de simulação), contrastasse certas limitações, em se tratar da interatividade individual ao simulador e na organização do espaço físico, que às vezes, não suporta a quantidade de alunos por computador.

Os simuladores 1) Construa uma molécula (https://phet.colorado.edu/sims/html/build-a-molecule/latest/build-a-molecule_pt_BR.html) e 2) Balanceamentos de equações químicas (https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-chemical-equations/latest/balancing-chemical-equations_pt_BR.html) se caracterizam como estratégias de simulações que contribuíram com a pesquisa para o desenvolvimento de habilidades investigativas com os alunos, pela realização de observações, questionamentos, modelagens e previsões.

A utilização de softwares de simulação surge como recurso promissor. Esses programas podem incluir animações, visualizações e interativas experiências computacionais. As simulações aliadas ao ensino podem ser eficazes no desenvolvimento da interpretação e compreensão do conteúdo, bem como na promoção de objetivos mais sofisticados de aprendizagem, tais como investigação e redescoberta, construção de modelos e conceitos (BELL; FOGLER, 1995). Vale ressaltar que, a princípio, é fundamental o direcionamento do docente na utilização dos simuladores, para que os educando compreendam o funcionamento dos mesmos antes de explorarem livremente as simulações.

- Aula 3 - Modelagem atômica com aplicativo de celular

A proposta foi desenvolver aspectos introdutórios sobre hidrocarbonetos (combustíveis e suas estruturas químicas). Para melhor orientar a interação com a SD, o professor questionou os estudantes, se já utilizaram aplicativo de celular em aulas de química? Em caso afirmativo, qual aplicativo?

Nesse questionamento inicial aplicado a 51 estudantes, pode-se verificar que 92% dos alunos (47 escolares), nunca utilizaram aplicativos de celular como ferramenta didática de modelagem em aulas de química. Os 8% dos alunos (4 escolares) que já fizeram a utilização desta ferramenta, relataram que o uso foi exclusivamente na interatividade com a tabela periódica. Posteriormente, analisando as respostas, os alunos foram orientados pelo professor a visualizarem por meio de aplicativo (app) de celular, estruturas tridimensionais de moléculas orgânicas em processo reacional. O app utilizado nessa aula foi o QuimicAR – (Realidade Aumentada).

Sobre o app QuimicAR - Realidade Aumentada é a inserção de objetos virtuais 3D no ambiente real, favorecendo ao usuário a visualização simultânea por meio de um dispositivo tecnológico utilizando uma interface onde o sujeito interage com o mundo virtual (KIRNER; KIRNER, 2008). De acordo com Oliveira e Netto (2010), o uso de tecnologia nas escolas poderá oferecer um papel duplo, facilitando a comunicação entre professores e alunos, e também, proporcionando métodos de ensino e ferramentas que possibilitem interações visuais e cognitivas, objetivando o desenvolvimento de habilidades fundamentais na sociedade.

Em elo a essa ferramenta pedagógica (app) pelo uso do celular, seguiu-se a discussão do conceito do petróleo e seus derivados, tema presente no cotidiano dos estudantes, como tópico de ensino, possibilitando o aprendizado de Química e também a formação de um cidadão mais consciente. O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), conhecido como gás de cozinha, é uma mistura dos gases propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}), obtidos pela destilação fracionada do petróleo e constituem a família dos alcanos que são considerados da função orgânica hidrocarboneto. Para os estudantes interagirem com outros tipos de combustíveis de uso atual e compreenderem melhor esta

função orgânica, sugeriu-se para modelagem atômica virtual o gás metano (CH_4) em reação com oxigênio (O_2) e liberando como produtos, gás carbônico (CO_2), água (H_2O) e energia na forma de calor (Figura 5).

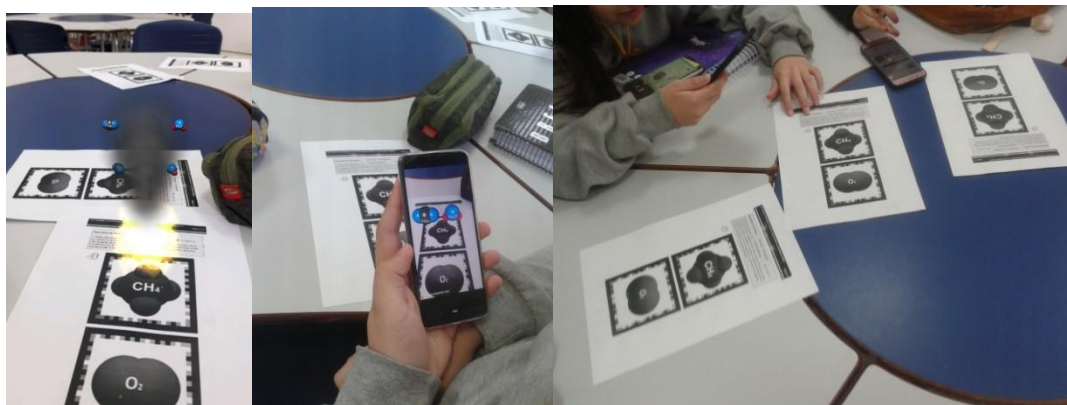


Figura 5: Visualização de simulações atômicas pelo uso do aplicativo QuimicAR.

Fonte: Autoria própria.

A página da sequência didática com as moléculas para interação com o aplicativo, foi impressa e distribuída aos estudantes (Link para imprimir as imagens para interação: <http://www.creativitic.es/downloads/augmentedclassv07.pdf>). Ao fim da aula, o professor, questionou os estudantes sobre o que acharam do uso do celular como ferramenta pedagógica no estudo das reações químicas? Esse momento permitiu aos estudantes expressarem como assimilaram a utilização do aplicativo de celular nas aulas de química. As respostas dos estudantes foram organizadas e categorizadas, conforme quadro 4.

Quadro 4: Percepção dos alunos sobre uso do aplicativo de celular na aula.

Descrição dos alunos posterior interatividade com o aplicativo de celular	Categorias desenvolvidas no uso do app.	% estudantes
“Eu amei o estudo com aplicativo, pois me despertou interesse”.	Interessante	15,7
“Porque é mais prático, mais fácil podemos procurar muito mais rápido”.	Prático	9,8
“Ao aplicativo referente a nossa aprendizagem de química é uma temática excelente, para que todos aprendam com mais facilidade...”	Fácil	9,8
“...ajuda a achar o que você procura”.	Ajuda	7,8
“pode ser mais maleabilidade do que computador, fica melhor para fazer...”	Melhora	7,8
“...é uma forma mais legal de aprender”.	Legal	5,9
“fica mais fácil porque a tecnologia é mais avançada”.	Assimilam a tecnologia	7,8
“pode auxiliar nos estudos se o aluno tiver consciência de que é um material escolar e não um passatempo ou meio para trocar mensagens”.	Uso adequado do celular	7,8
“O uso do app nos ajudou a ter uma ideia sobre como acontecem as reações e de como as moléculas atuam”.	Interação entre movimento e imagem	9,8
“pode ser usado como uma pesquisa durante as aulas”.	outros	17,7

Fonte: Autoria própria.

Percebeu-se que 56,8% dos estudantes relataram o fenômeno de modelagem pelo celular como categorias de auxílio nas experiências (interessante, prático, fácil, ajuda, melhora, legal) características estas que aproximam do saber-fazer, representado pelas falas dos estudantes na aresta do nível simbólico/macrocópico. Os entrevistados (25,4%), na relação ao aporte tecnológico, disseram que puderam “visualizar” melhor as moléculas em movimento, sendo possível, por meio desse aparato tecnológico, aproximar os educandos do nível submicroscópico.

As novas tecnologias de informação e comunicação (TIC's), caracterizadas como midiáticas, são, portanto, mais do que simples suportes. Elas interferem em nosso modo de pensar, sentir, agir, de nos relacionarmos socialmente e adquirirmos conhecimentos. Criam uma nova cultura e um novo modelo de sociedade (KENSKI, 2004; YAMAGUCHI, 2021). O aplicativo QuimicAR utilizado nesta pesquisa, para que funcione no aparelho celular, requer como requisito o sistema operacional android, esta configuração necessária fez com que alguns alunos, ficassem impossibilitados de interagirem a simulação, pois o sistema operacional era diferente de seus aparelhos móveis. Para sanar esta situação na aula, o professor disponibilizou aos alunos um aparelho de celular com as configurações exigidas, e que compartilhassem o dispositivo para as interações.

- Aula 4 - Proporções químicas e modelos atômicos

Foi proposta uma atividade de caráter experimental (combustão de álcoois). Esta atividade tem por finalidade estimular os alunos a identificarem na queima de diferentes álcoois, por meio de observações, as relações que fazem entre combustão dos álcoois e as estruturas carbônicas. Na experimentação, os alunos trabalharam as atividades em grupos, com os compostos orgânicos, álcoois de diferentes estruturas carbônicas: a) Metanol b) Etanol c) Propanol. Estes álcoois foram submetidos ao processo de combustão em volume de 3 mL (de forma segura, em capela de exaustão - figura 6) e foi solicitado aos estudantes para observarem e, posteriormente anotarem a cor, estabilidade, presença de fuligem e altura aproximada das chamas (quadro 5).

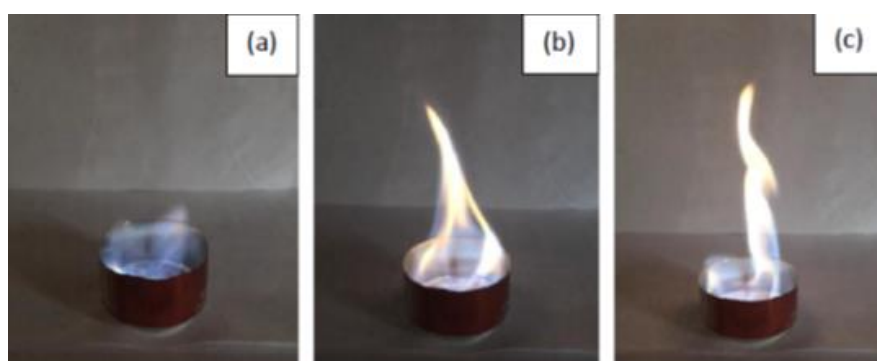


Figura 6: Combustão de 3mL de diferentes álcoois. a) Metanol, b) Etanol, c) Propanol

Fonte: Autoria própria.

Quadro 5: Informações coletadas de um grupo de alunos posterior às observações.

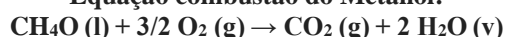
Alcoóis	Cor da chama	Estabilidade	Presença de fuligem	Altura da chama
Metanol	Incolor- Azul pálido	Estável	Não ocorreu	5-8 cm
Etanol	Azul-amarela	Estável	Não ocorreu	10-12 cm
Propanol	Amarela-azul	Oscilante	Pequenos indícios	12-15 cm

Fonte: Autoria própria.

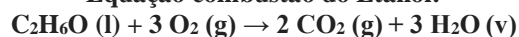
As respostas dos estudantes descritas no quadro 5, foram analisadas pelo professor, e posteriormente, foram apresentados os conceitos químicos (científicos) mais adequados para a explicar as observações dos estudantes sobre as características das chamas. Deste modo, relacionou-se o calor liberado na reação química, com o balanço energético entre a ruptura de ligações químicas (ligações entre átomos na molécula) nos reagentes e a formação de novas ligações, no produto da reação.

A presença de fuligem (características de combustão incompleta) ocorre em função da não proporção adequada de oxigênio na reação química, visto a elaboração do experimento em ambiente fechado e com pouca circulação de ar, não respeitando as condições padrões para combustão completa. A molécula do propanol tem um maior número de átomos de carbono em sua estrutura, com isso, aumenta-se a razão carbono/oxigênio na queima, diminuindo-se a geração de produtos mais oxidados (CO₂) e aumentando-se a de espécies menos oxidadas (C na forma de fuligem). A seguir estão descritas as equações balanceadas de combustão completa dos álcoois utilizados na experimentação:

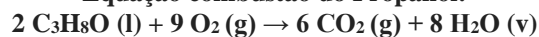
Equação combustão do Metanol:



Equação combustão do Etanol:



Equação combustão do Propanol:



Esta descrição teórica sobre cadeias carbônicas foi discutida no laboratório de ciências, sendo abordadas características como: cor, estabilidade e altura das chamas, descritas pelos estudantes.

O desenvolvimento da atividade proposta teve seu conteúdo discutido dentro do seu próprio contexto, levando-se em consideração as respostas efetuadas pelos alunos, bem como a busca por explicação aos fenômenos. Assim sendo, a experimentação por meio da investigação proporciona aos alunos a chance de desenvolver a observação, discussão, trabalho em equipe, dentre outras características (ARAÚJO; ABIB, 2003).

A presença do professor junto aos estudantes no laboratório de ciências durante o processo é fundamental, devido à periculosidade dos reagentes e produtos das reações de combustão, orientando e atuando como mediador das discussões, ideias e construção de hipóteses. Para Borges (2002), a experimentação como atividade de investigação desafia o aluno a solucionar um problema, prendendo assim a sua atenção, e o envolvendo mais com a prática.

Complementando a discussão sobre os combustíveis (álcoois) abordados no experimento, solicitou-se aos alunos para acessarem novamente o simulador virtual PhET: Construa uma molécula para realização da modelagem atômica virtual dos álcoois. Nesta aula, transitou-se pelo nível submicroscópico das estruturas carbônicas dos álcoois pela visualização dos modelos atômicos. Construíram-se as moléculas dos álcoois utilizados na experimentação e posteriormente os alunos verificaram as moléculas em estruturas tridimensionais (figura 7).

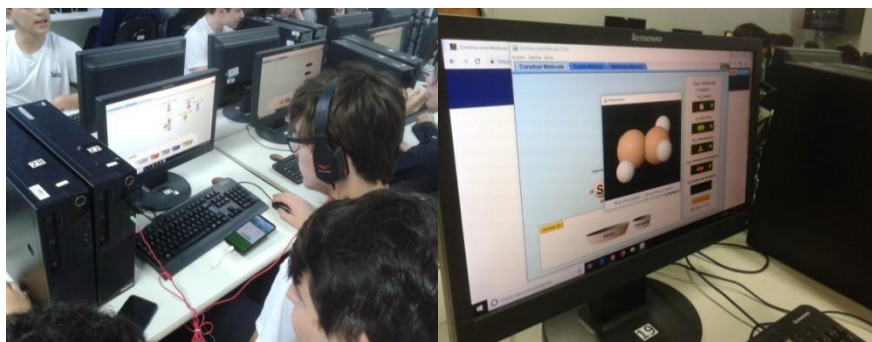


Figura 7: Interação dos estudantes com o simulador na construção das moléculas de álcoois.
Fonte: Autoria própria.

Este momento possibilitou aos alunos conhecerem na plataforma do simulador, outro ícone chamado moléculas múltiplas, para assim modelar a estrutura dos álcoois de cadeias carbônicas maiores em assimilação ao estado físico do combustível.

Ao fim da simulação virtual das estruturas dos álcoois, os estudantes responderam à questão (quadro 6) sobre qual foi a percepção que tiveram na interação entre a modelagem atômica virtual e os conceitos químicos sobre os álcoois?

Quadro 6: Percepção dos alunos posterior interação a simulação de modelagem para os álcoois.

Descrição respostas dos estudantes ao questionamento	Categorias desenvolvidas na modelagem virtual dos álcoois.	% dos estudantes
“Legal, fiz o butanol”. “Dá pra montar tamanhos grande de carbono”.	Contextualização dos conceitos químicos. (Estruturas químicas)	34,4%
“Acho mais fácil para aprender, além dos desenhos, as cores também ajudam muito”. “Podemos olhar melhor os tipos de tamanho e muitas coisas mais”.	Ampliação visual (Formas e desenhos)	28,1%
“mais praticidade para estudar com uma coisa que estamos acostumados todos os dias”. “ajudou a ver como a molécula funciona na prática”.	Praticidade no uso	15,6%
“pode ajudar na concentração, pois não corre o risco de explosão ou algo semelhante...” “Ajuda a aprender e entender mais sobre a matéria”.	Ajuda no entendimento	15,6%
“Foi incrível, me trouxe algo diferente e surpreendente. E também um novo conhecimento”. “Legal a ideia sobre, pois podemos desenvolver novos conhecimentos”.	Adquirem novos conhecimentos sobre o assunto	6,3%

Fonte: Autoria própria.

A maioria dos estudantes (62,5%) relatam que ampliaram suas visões sobre as imagens e uso do modelo atômico em contextualização aos conceitos químicos sobre álcoois. De modo geral, percebeu-se que os estudantes se envolveram na utilização do simulador. Essa ferramenta propiciou discussões sobre os níveis de representações simbólico/microscópico.

Para Santos (2011), os *softwares* de simulação, permitem uma interatividade e a possibilidade de simular situações experimentais e de visualizar fenômenos de caráter microscópico, muitas vezes impossíveis de compreender mesmo em uma prática experimental. Pessoa (2007) destaca uma vantagem dos *softwares* de simulações, pois permitem a exploração de

situações fictícias e de risco, possibilitando, por exemplo, assimilação com a manipulação de materiais perigosos e poluentes.

- Aula 5 - Teste de chama e simulações animadas

Para investigação inicial, levantou-se a seguinte situação problema: Nos períodos festivos é muito comum a queima de fogos de artifício. Vocês já devem ter notado que os fogos de artifícios ao serem queimados produzem uma variedade de cores. Existe explicação para tal fenômeno?

As respostas dos estudantes foram organizadas e agrupadas por temáticas científicas a serem desenvolvidas na aula (Quadro 7).

Quadro 7: Descrição das falas dos estudantes para o questionamento sobre a cor dos fogos de artifício.

Descrição respostas dos estudantes ao questionamento	Principais elementos citados pelos estudantes	Temáticas científicas a serem desenvolvidas	% de estudantes
“Os corantes, reação em cadeia”. “São coloridos por obterem tintas em forma de pó...”	Corante, Pó, tinta e fogos coloridos	Composição química dos fogos de ar	46,7%
“fogos de artifício podem ter sua coloração diversificada, suas cores mudam por conta de sua composição química...” “No caso dos fogos de artifício, essas colorações dependem das reações químicas que ocorrem quando entram em contato com o ar atmosférico”.	Elementos/ Composição e Reação química	Reação química dos elementos químicos nos fogos	33,3%
“Não sei, acho que é a pólvora diferente” “Porque depende da força do oxigênio, se tiver muito fica de uma cor”.	Pólvora diferente Combustível/ Comburente	Diferenças entre os combustíveis dos fogos de artifício e sais metálicos.	20,0%

Fonte: Autoria própria.

Posterior aos comentários dos estudantes, o pesquisador constatou que 46,7% explicaram a combustão dos fogos de artifício pelo caráter visual que o fenômeno empírico se apresenta, relacionando a corantes e pó colorido, deste modo, relacionando ao nível macroscópico das experiências e vivências.

Pela descrição de algumas respostas dos estudantes, como: “No caso dos fogos de artifício, essas colorações dependem das reações químicas que ocorrem quando entram em contato com o ar atmosférico” e também “Porque depende da força do oxigênio, se tiver muito fica de uma cor”, verifica-se que essas falas fazem relação com conteúdo de aulas discutidas anteriormente. Tal aspecto é relevante pois nos mostra que os alunos estabeleceram relações entre as diferentes atividades propostas, embora nesse ponto ainda existam dificuldades conceituais.

Com base nas respostas dos alunos, verificou-se a necessidade da contextualização sobre os fogos de artifício, seu funcionamento e materiais que o compõem. Como atividade experimental para a situação problema relativo aos fogos de artifícios, solicitou aos estudantes para observarem as cores das chamas produzidas pelos sais metálicos na experimentação denominada teste de chama (figura 8).

A atividade experimental foi realizada em grupo, onde a partir da queima de diferentes sais metálicos, os estudantes puderam observar as cores das chamas. Posteriormente, relacionaram os sais metálicos utilizados na queima com suas cores características (quadro 8).

Quadro 8: Cor das chamas e seus respectivos sais metálicos.

Sal metálico utilizado	Cor da chama observada
a) Carbonato de Cálcio (CaCO_3)	Alaranjada
b) Sulfato de cobre (CuSO_4)	Verde
c) Cloreto de Sódio (NaCl)	Amarela

Fonte: Autoria própria.

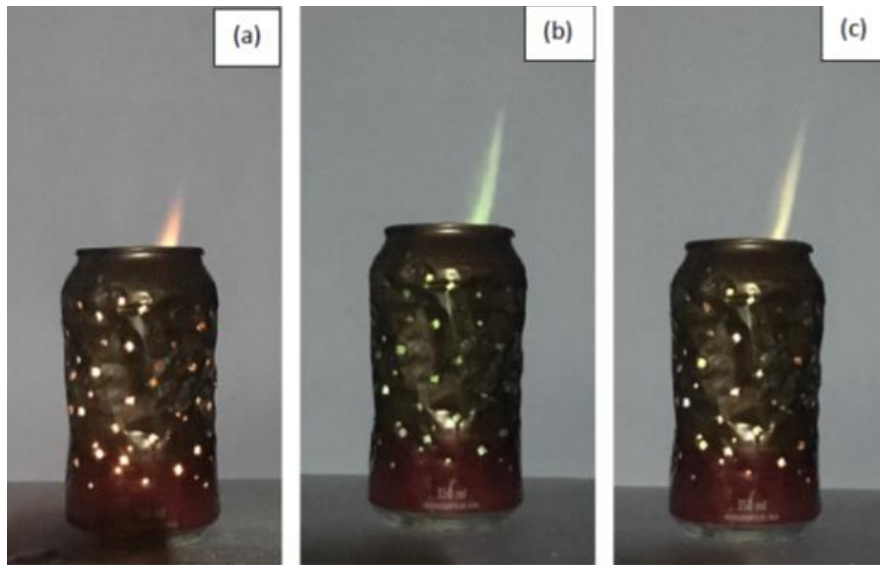


Figura 8: Combustão de 3 mL de etanol em presença de sais metálicos: a) CaCO_3 , b) CuSO_4 , c) NaCl

Fonte: Autoria própria.

Na sequência às observações experimentais, o professor explicou de forma rápida, que quando os fabricantes desejam produzir fogos de artifício coloridos, mistura-se à pólvora compostos de certos elementos químicos. Neste momento os estudantes puderam assimilar que a cor que um elemento confere aos fogos de artifício é a mesma que ele possui no teste da chama.

Os estudantes reforçaram o contexto apresentado, exemplificando, a queima da palha de aço, relacionando a presença de fagulhas (amarelo-alaranjada). O professor reforçou esta ideia prévia dos alunos, e sinalizou que o mesmo comportamento será esperado na queima de um sal de ferro e, portanto, o de apresentar cor amarelo-alaranjada.

Como aprofundamento teórico sobre as cores das chamas, o professor incitou os estudantes a pensarem o fenômeno observado a nível eletrônico. A queima de um sal metálico implica na promoção de elétrons, cujo retorno é revelado pela emissão de luz. Assim, um elétron pode passar de um nível para outro de maior energia, desde que absorva energia externa (calor). Quando isso acontece, dizemos que o elétron foi excitado e que ocorreu uma transição eletrônica. Já a transição de retorno deste elétron ao nível inicial se faz acompanhada pela liberação da energia na forma de ondas eletromagnéticas (percepção pela cor).

Compreender a construção dos átomos auxilia o processo de aprendizagem, pois o modelo de átomo (Dalton) que estávamos realizando a modelagem, já não é mais adequado a esse debate conceitual de transição eletrônica, devido à carência conceitual da estrutura atômica.

Por se tratar de conceitos mais complexos sobre a estrutura da matéria, foi solicitado aos alunos interagirem por meio de simulações virtuais baseadas na modelagem atômica de Bohr. Desta forma, estreitando a relação de aprendizagem entre a imagem física dos orbitais atômicos e o diagrama de nível de energia de um elétron.

O primeiro simulador de interação utilizado foi “A química das cores dos fogos de artifício: simulador computacional da Labvirt – USP” (figura 9). O Laboratório Didático Virtual (LabVirt) foi um projeto criado pela Escola do Futuro e coordenado pela Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Esse programa interativo, simula experiências reais, no caso, a química das cores dos fogos de artifício em relação aos modelos e teorias atômicas de Bohr. Esta animação auxilia nas representações que envolvem elementos bastante abstratos, tais como, estrutura atômica e partículas subatômicas.



Figura 9: Página inicial simulador animado: A química dos fogos de artifício - Labvirt
Fonte: http://www.labvirtq.fe.usp.br/simulacoes/quimica/sim_qui_fogos.htm

Após interação com a simulação, o professor questionou os estudantes sobre o que mais chamou a atenção pela interação da simulação animada da Labvirt? (quadro 9)

Quadro 9: Descrição das respostas dos estudantes relativos à simulação animada.

Descrição das respostas dos estudantes	Categorias desenvolvidas pelos estudantes	% de estudantes
“Porque pode parar ou movimentar a imagem” “parece um jogo, isso é bom” ...	Interatividade com o simulador	33,3%
“...tem uma facilidade mais didática para aprender”. “...aplicativos interativos, porque desperta mais o interesse e fica mais fácil”.	Facilidade na aprendizagem	14,8%
“ajuda para saber algo melhor”. “chama atenção para o estudo”.	Ajuda a entender os conteúdos	25,9%
“...influência mais a nossa imaginação”. “temos uma imagem mais ampla”.	Relacionam imagem e a imaginação	11,1%
“foi nova a simulação” “sim”.	outros	14,8%

Fonte: Autoria própria.

Pela utilização de recursos computacionais aliada às simulações, como estratégia de ensino, verificaram-se pela descrição das respostas dos estudantes alguns pontos que chamam a atenção na interatividade com o simulador (33,3%). Os estudantes associam este tipo de simulação aos jogos, outros estudantes justificam suas ideias, pela ação dos comandos (parar ou seguir) no simulador. Sobre esta temática Guerra (2000, p. 26) compreende que os recursos disponibilizados pelo computador permitem “colocar os alunos em uma posição ativa de descobridores e construtores de

seu próprio conhecimento”, além de contribuir para incitar no aluno o pensamento crítico. Eichler e Del Pino (1998, p.4) colocam que programas simuladores, de modelagem e jogos são os que apresentam uma abordagem cognitivista, uma vez que o aluno é elemento participante da simulação, pois controla variáveis e parâmetros que regem esta simulação.

Após realizada a interação ao simulador da Labvirt-USP, os estudantes acessaram um outro software de simulação (PhET), denominado Monte um átomo.

As atividades iniciaram-se pela construção de átomos com prótons, nêutrons e elétrons e sua relação com a massa e carga. Entre os átomos disponíveis para modelagem, os alunos montaram o átomo de Lítio (Li) - classificado como metal alcalino e verificaram suas camadas energéticas e como os elétrons distribuem-se nas mesmas (figura 10).

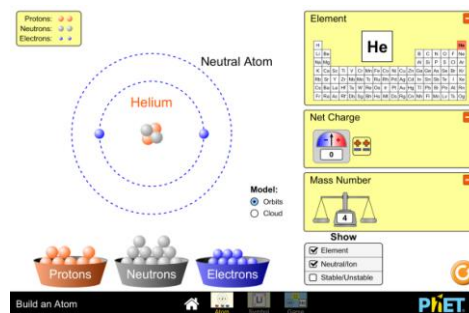


Figura 10: Página inicial simulador: Monte um átomo (PhET)

Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_pt_BR.html

Para complementar os estudos sobre a visualização das cores das chamas, sugeriu-se, por seguinte, manusear outro software de simulação (PhET): Modelos para átomo de hidrogênio. Este simulador possibilitou a discussão do modelo atômico de Bohr sobre os níveis de energia atômica e a transição dos elétrons por estes níveis por meio de uma fonte de excitação (figura 11).



Figura 11: Página inicial simulador: Modelos para átomos de hidrogênio (PhET)

Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/hydrogen-atom/latest/hydrogen-atom.html?simulation=hydrogen-atom&locale=pt_BR

Posterior às simulações, os estudantes foram questionados pelo professor sobre quais diferenças foram observadas entre o uso do modelo atômico de Bohr com os anteriores?

Os mesmos, apontaram que estes simuladores da aula 5 (45 estudantes), apresentaram como possibilidade a visualização de cargas elétricas, prótons e elétrons, além de definir as camadas eletrônicas, onde os elétrons se distribuem (quadro 10).

Quadro 10: Categorias selecionadas posterior ao uso do modelo atômico de Bohr.

Descrição respostas dos estudantes sobre o uso das modelagens atômica de Bohr	Categorias modelagem atômica de Bohr.	% estudantes
“A visualização da eletrosfera e dos elétrons”. “O número de elétrons, prótons e cátions...”	Cargas, prótons, elétrons. Eletrosfera e camada de valência	59,3%
“Porque o modelo de Dalton as cores só indicam cada átomo”. “Porque são formas diferentes”.	Visualização de cor e forma	14,8%
“A questão da amplitude de informações que o sistema de bohr nos demonstra”. “no outro fica mais explicativo”	Amplitude de informações e conceitos	25,9%

Fonte: Autoria própria.

As cores e formas que os simuladores virtuais apresentam na interação por modelagem, todavia, seguem como características que os estudantes assimilam em relação aos conceitos científicos (14,8%).

Segundo Santos, Alves, Moret (2006), simulações são ferramentas computacionais capazes de auxiliar na construção do conhecimento e podem ser usadas para ressignificar o conhecimento mediante significados claros, estáveis e diferenciados previamente daqueles existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Os autores ressaltam que as simulações não têm o objetivo de substituir a experiência e nem de tomar o lugar da realidade, mas sim, o de permitir a formulação e a exploração rápidas de grande quantidade de hipóteses. Para Giordan (2005), um dos modos existentes para realizar a transposição do fenômeno do meio natural para o computador é utilizar uma combinação de um conjunto de variáveis, reproduzindo as leis que interpretam o fenômeno físico, utilizando para isso simulações que apresentam com cores e formas.

Sendo que o interessante seria o estudante perceber que não há um modelo correto e sim leituras diferentes dos mesmos fenômenos macroscópicos, mostrando o caráter dinâmico da Química. Chassot (1996) diz que a escolha do modelo atômico deve ser feita, dependendo de como os átomos modelados serão utilizados depois. O modelo não precisa ser o mais atual, nem o único, mas sim aquele(s) que permita(m) a aprendizagem de maneira adequada permitindo a relação entre o micro e o macro, entre o imaginado e o visível.

Como fechamento pelo pesquisador a análise da aplicação da sequência didática, solicitou aos estudantes, de como o termo "fogo" se apresenta em suas concepções, visto na pesquisa a utilização de atividades de experimentações e simulações virtuais. Os dados foram obtidos a partir das questões de livre evocação de palavras, sem hierarquização (mesmo formato do levantamento inicial). Posteriormente foi apresentado em sala de aula para os alunos no formato *wordclouds* (figura 12) em duas imagens suas percepções de vocábulo antes e depois da aplicação de sequência de aulas.



a) diagnóstico inicial b) diagnóstico final
Figura 12: Representações do fogo citadas pelos estudantes no formato *wordcloud*.
Fonte: Autoria própria.

Para a representação “fogo” pós (SD), foram citadas as seguintes palavras: Combustão (15 alunos / 23%), Chamas (10 alunos / 15%), Transformação (4 alunos / 6%), Combustíveis (10 alunos / 15%), Calor (3 alunos/ 5%), Reações (7 alunos/ 11%), Química (7 alunos / 11%), Temperatura (3 alunos / 5 %), Energia (3 alunos / 5%), Queima (3 alunos / 5 %).

Como análise, verifica-se que novas palavras surgem pela livre evocação de palavras, sem hierarquização (Chamas, Temperatura e Transformação). Essa visualização em formato *wordclouds* permite constatar a ampliação do vocábulo relacionado aos conceitos científicos, no caso combustão. Termo este, que aumentou na citação dos alunos. Palavras como, mistério, explosão, destruição, fumaça, comida e fogão não aparecem na análise diagnóstico final permitindo ao pesquisador inferir que os estudantes ampliaram suas percepções sobre o processo de combustão e suas relações com os modelos atômicos, além de vivenciar diferentes situações nas quais os três aspectos dos conhecimentos químicos foram necessários para as discussões de cada uma das atividades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração e aplicação da sequência didática (SD) ampliaram por parte do pesquisador-professor as formas de aplicar em sala de aula os modelos atômicos em elo com experimentações e simulações virtuais. A troca de ideias e de experiências fez com que a sequência de ensino elaborada trouxesse conteúdos químicos relevantes ao estudo das combustões por experiências e modelagens atômica: de Dalton e Bohr (modelos estes utilizados pelos conteúdos propostos).

Notou-se que os alunos interagiram bem nas aulas experimentais. Percebeu-se que os alunos entendem a importância da modelagem atômica adequada em elo à variedade de conteúdos químicos que a mesma compreende.

As simulações virtuais permitiram criar ambientes que ampliaram as possibilidades de interação e representação aos níveis do conhecimento, permitindo a capacidade de modelagem a nível atômico aos estudantes, desta forma, estreitando uma maior aproximação ao nível submicroscópico pela visualização dos modelos.

Durante o desenvolvimento das aulas foi possível agregar a utilização de recursos digitais às atividades práticas no ensino de química, aproximando essas estratégias que nem sempre são utilizadas para a discussão da mesma temática.

Analisando as respostas fornecidas nos questionamentos e os debates ocorridos em sala de aula, os estudantes puderam ampliar sua linguagem química, pela aquisição de novos termos

científicos em adesão aos seus conhecimentos prévios. Houve engajamento dos alunos na execução das atividades propostas nos níveis representacionais (Experiências/modelos/Visualização), o que leva a crer que a sequência didática de modelagem atômica, produto principal desse estudo, teve boa aceitação.

REFERÊNCIAS

Araújo, M. S. T.; Abib, M. L. V. S. (2003). Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.25, n.2, p.176-194.

Bell, J. T.; Fogler, H. S. (1995). *Virtual reality in chemical engineering education*. In: INDIANA ASEE SECTIONAL CONFERENCE, 1995. Proceedings of the 1995. Illinois, p. 16-18.

Borges, A. T. (2002). Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.19, n.13, p.291-313.

Chahuán-Jiménez, K. (2009). Evaluación cualitativa y gestión del conocimiento. *Educación y Educadores*. *Chia*, v. 12, n. 3, p. 179-195.

Chandrasegaram, A. L.; Treagust, D.; Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 8, n. 3, p. 293-307.

Chassot, A. (1996). Sobre prováveis modelos de átomos. *Química Nova na Escola*, n. 3, maio de 1996.

Chassot, A. (1993). Química do Cotidiano: pressupostos teóricos para elaboração de material didático alternativo. *Espaços da Escola*, n.10, p.47-53.

Chittleborough, G.; Treagust, D. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 8, n. 3, p. 274-292.

Clark, T. M.; Chamberlain, J. M. (2014). Use of a PhET interactive simulation in general chemistry laboratory: Models of the hydrogen atom. *Journal of Chemical Education*, v. 91, n. 8, p. 1198–1202.

Eichler, M. L.; Del Pino, J. C. (1998). *Modelagem e implementação de ambientes virtuais de aprendizagem em ciências*. In: CONGRESSO RIBIE, Brasília, DF, n4.

Gaspar, A.; Monteiro, I. C. D. C. (2005). Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 2, p. 227-254.

Gibin, G. B.; Ferreira, L. H. (2013). Avaliação dos estudantes sobre o uso de imagens como recurso auxiliar no ensino de conceitos químicos. *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 1, p. 19-26.

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

Kenski, V. M. (2004). *Tecnologias e ensino presencial e a distância*. 2. ed. Campinas: Papirus.

Kirner, C.; Kirner, T. G. (2008). *Simulation and Modeling: current technologies and applications*. [S.I.]: ed. IGI Global, p.391-419.

- Lima, K. O.; Silva, G. M.; Matos, M. S. (2010). *Análise das dificuldades encontradas por alunos do Ensino Médio na construção de relações entre modelos atômicos, distribuição eletrônica e propriedades periódicas*. In: XV Encontro Nacional de Ensino de Química. Anais. Brasília, p1-12.
- Melo, M. R.; Lima Neto, E. G. (2013). Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química. *Química Nova na Escola*. n. 35, p. 112-122.
- Mintzes, J. J.; Wandersee, J. H.; Novak, J. D. (2000). *Ensinando Ciência para a compreensão – uma visão construtivista*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Moreira, M. A. (2006). *A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em Sala de aula*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Mortimer E. F.; Machado, A. H.; Ronabelli, L. I. (2000). A proposta curricular de química do estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. *Química Nova*, n.23 (2), p. 273-277.
- Oliveira, A.; Netto, A. (2010). *IHC e engenharia pedagógica*. Visual Book, Florianópolis.
- Oliveira, J. R. S. (2010). A perspectiva sócio-histórica de Vygotsky e suas relações com a prática da experimentação no ensino de Química. *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 3, n. 3, p. 25-45.
- Oliveira, R. C. (2012). *Uso de modelos moleculares por alunos de Ensino Médio: Contribuições para o desenvolvimento de modelos mentais de conceitos químicos*. Universidade Federal de São Carlos.
- Padilla, K.; Garritz, A. (2011). *The pedagogical content knowledge of university chemistry Narst. Annual Meet. Anais*.
- Pessoa, A. B. A. (2007). *Informática como Instrumento Mediador do Ensino de Química Aplicada na Formação Inicial dos Professores*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Departamento de Química, Universidade de Brasília, Brasília.
- Quinto, T.; Ferracioli, L. (2008). Modelos e modelagem no contexto do ensino de ciências no Brasil: uma revisão de literatura de 1996-2006. *Revista Didática Sistêmica*. v. 8, p. 80-100.
- Rocha, J. R. C.; Cavicchioli, A. (2005). Uma abordagem alternativa para o aprendizado dos conceitos de átomo, molécula, elemento químico, substância simples e substância composta, nos ensinos fundamentais e médios. *Química Nova na Escola*. n 21, p. 29-33, 2005.
- Santos, G. L. (2011). *Laboratório virtual: um recurso inovador no auxílio ao ensino de Química*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.
- Saviani, D. (2008). *Escola e Democracia*. Edição Comemorativa. Campinas: Autores Associados.
- Souza, T. P.; Silva P. F. K. (2018). O Ensino de Química e Atividades Lúdicas: o que pensam os estudantes? Jaguarão: *Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade*, v. 4, p. 1-11.
- Souza, A. G. L.; Cardoso, S. P. (2020). Uma abordagem lúdica para trabalhar teoria atômica no Ensino fundamental. *Experiências em Ensino de Ciências*, v.15, n.2.

Stangherlin, D. H.; Uhmman, R. I. M.; Breem, C. (2014). *Compreendendo o balanceamento de equações químicas por meio da utilização de um simulador virtual 34º EDEQ: Inovação no Ensino de Química: Metodologias, Interdisciplinares e politécnica*. Anais.

Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic? The Many Faces of the Chemistry Triplet. *International Journal of Science Education*, v. 33, n. 2, p. 179-195.

Taskin, V.; Bernholt, S. (2012). Students' Understanding of Chemical Formulae: A review of empirical research. *International Journal of Science Education*, v.36, n.1, p. 157–185.

Thiollent, M. (2009). *Metodologia da Pesquisa-ação*. Cortez, São Paulo, 17ª edição.

Tripp, D. (2005). Pesquisa-ação: uma introdução metodológica, Educação e Pesquisa, São Paulo, vol.31, n.3, p. 443-466.

Yamaguchi, K. K. L. (2021). Ensino de química inorgânica mediada pelo uso das tecnologias digitais no período de ensino remoto. *Revista Prática Docente*, v.6, n.2.

Wartha, E. J.; Alario, A. F. (2005). A Contextualização no Ensino de Química Através do Livro Didático. *Química Nova na Escola*, n.22.

Wu, H. K.; Shah, P. (2003). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, v.88, n.24, p. 465-492.

Wu, H. K.; Krajcik, J. S.; Soloway, E. (2001). Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, n.38(7), p. 821-842.

Zabala, A.; Arnau, L. (2010). *Como aprender e ensinar competências*. Porto Alegre: Artmed.