

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Gabriela Ávila Costa

**A Contribuição das Tecnologias Digitais no Ensino de Ligações Covalentes no
Ensino Médio**

Belo Horizonte

2025

**A Contribuição das Tecnologias Digitais no Ensino de Ligações Covalentes no
Ensino Médio**

Trabalho de Trabalho de Conclusão do Curso
apresentado ao Curso de Química da Universidade
Federal de Minas Gerais, como requisito parcial
para o grau de licenciada em Química

Orientador: Prof. Dr. Célio da Silveira Júnior

Belo Horizonte

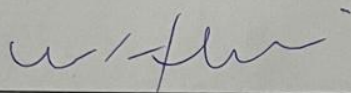
2025

UFMG

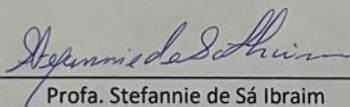
COLEGIADO DE QUÍMICA
Instituto de Ciências Exatas
Fone: (031) 3409-5799/6386
E-mail: colgradqui@icex.ufmg.br

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Química Licenciatura da Universidade Federal de Minas Gerais, da estudante Gabriela Ávila Costa, nº de registro 2019053521.

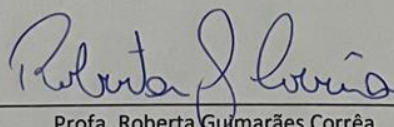
O Trabalho de Conclusão de Curso da estudante **Gabriela Ávila Costa**, intitulado **A Contribuição das Tecnologias Digitais para a Superação de Dificuldades no Ensino de Ligações Químicas no Ensino Médio** foi avaliado e aprovado pela Banca Examinadora constituída pelo Prof. Célio da Silveira (FaE - UFMG), orientador do Trabalho de Conclusão de Curso, Profa. Stefannie de Sá Ibraim (DQ - UFMG) e Profa. Roberta Guimarães Corrêa (DQ - UFMG) no dia 04 de dezembro de 2025.



Prof. Célio da Silveira



Profa. Stefannie de Sá Ibraim



Profa. Roberta Guimarães Corrêa

Dario
Windmoller:4040369
6020

Assinado de forma digital por
Dario Windmoller:40403696020
Dados: 2025.11.25 14:23:57
-03'00'

Prof. Dario Windmüller

Coordenador do Colegiado dos Cursos de Graduação em Química e Química Tecnológica
ICEx - UFMG

RESUMO

A compreensão das ligações químicas é essencial para o entendimento da matéria, mas sua natureza abstrata e a exigência de articulação entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico tornam o conteúdo um desafio significativo no Ensino Médio. Nesse contexto, a integração de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC), como softwares de visualização molecular e simuladores interativos, apresenta-se como uma estratégia promissora, para tornar o conteúdo mais acessível e mais significativo. Este trabalho teve como objetivo elaborar e aplicar uma atividade sobre o ensino de ligações covalentes em uma turma da primeira série do Ensino Médio da rede pública, utilizando os simuladores interativos PhET como recurso pedagógico principal. A proposta buscou promover a visualização das estruturas moleculares e favorecer a aprendizagem de conceitos abstratos, desenvolvendo habilidades conceituais e procedimentais. O conjunto de atividades foi estruturado em três momentos, entretanto apenas o momento 1 e 3 foram aplicados. A análise dos resultados da aplicação da atividade apontou, no Momento 1, indícios de que o uso do recurso digital contribuiu para a superação das dificuldades relacionadas à abstração do conteúdo tratado e para o alto engajamento; no entanto, o Momento 3 (Polaridade da Molécula) revelou que a abstração conceitual inerente ao tema, aliada à dependência de uma compreensão teórica profunda da Eletronegatividade foi acompanhada por baixo engajamento e exigindo uma mediação passo a passo e síncrona da professora-pesquisadora devido à dificuldade dos alunos em interpretar o *feedback* visual (vetor de dipolo e nuvem de elétrons). Um desafio enfrentado, foi a supressão do Momento 2 devido ao receio do professor responsável pela turma quanto à complexidade do conceito trabalhado. Conclui-se que, apesar das disparidades de sucesso entre as etapas, a abordagem com o PhET se mostrou importante para simplificar o conteúdo abstrato em certos aspectos e confirmou a eficácia da tecnologia como mediadora, sendo que a experiência prática e o planejamento didático com TDIC representaram uma contribuição fundamental para a formação docente da professora-pesquisadora, enriquecendo seu repertório metodológico, e pesquisas futuras poderiam abordar a aplicação completa de uma sequência didática e a eficácia dos simuladores na compreensão de geometria molecular.

Palavras-chave: Ligações Covalentes, Tecnologias Digitais, Simuladores PhET, Ensino Médio.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Simuladores PhET, Habilidades e Funcionalidades	26
Figura 1 – <i>Screenshot</i> da tela inicial do simulador PhET Monte uma Molécula	28
Figura 2 – <i>Screenshot</i> da tela do simulador PhET Monte uma Molécula, mostrando um exemplo de molécula montada	28
Figura 3 – <i>Screenshot</i> da tela do simulador PhET Monte uma Molécula, mostrando as ligações da molécula de O_2	29
Figura 4 – <i>Screenshot</i> da tela do simulador PhET Monte uma Molécula, mostrando as ligações da molécula de N_2	29
Figura 5 – <i>Screenshot</i> do PhET Interações Atômicas mostrando o gráfico de Energia Potencial vs. Distância Interatômica do átomo de Argônio	30
Figura 6 – <i>Screenshot</i> do simulador PhET Polaridade da Molécula (Dois Átomos) mostrando as cargas parciais, característica da ligação, eletronegatividade dos átomos e a nuvem de densidade eletrônica	31
Figura 7 – <i>Screenshot</i> do simulador PhET Polaridade da Molécula (Moléculas Reais) mostrando as cargas potenciais, eletronegatividade dos átomos e a nuvem de densidade eletrônica	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

CNT – Ciências da Natureza e suas Tecnologias

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade

PBL – *Problem Based Learning* (Aprendizagem Baseada em Problemas)

PhET – *Physics Education Technology* (Projeto de Simulações Interativas)

SE – *Softwares* Educacionais

SEA – Sequência de Ensino e Aprendizagem

STEM – *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática)

TDIC – Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação

TICs – Tecnologias de Informação e Comunicação

TLV – Teoria da Ligação de Valência

TOM – Teoria dos Orbitais Moleculares

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	5
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	6
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVOS.....	9
3 REFERENCIAIS TEÓRICOS:.....	10
3.1 A Importância do Ensino e Aprendizagem de Ligações Químicas.....	10
3.2 Modelos Teóricos Para o Ensino de Ligações Químicas.....	11
3.3 As Tecnologias Digitais da Informação e Computação no Ensino de Química.....	13
3.4 A Importância Do Ensino Por Meio Das Metodologias Ativas.....	14
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
5 METODOLOGIA.....	21
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
6.1. Apresentação e Estrutura da Atividade Desenvolvida.....	26
6.1.1. Contextualização, Objetivos e Alinhamento Curricular.....	26
6.2. Análise e Discussão dos Dados da Aplicação.....	28
6.2.1. Momento 1: A Representação das Ligações.....	29
6.2.2. Momento 2: Estabilidade Energética.....	31
6.2.3. Momento 3: Polaridade da Molécula.....	32
6.3 Implicações Pedagógicas e Reflexões sobre a Mediação Tecnológica.....	34
7 CONCLUSÃO.....	36
APÊNDICE 1.....	38
Parte A – Construindo Moléculas.....	38
Parte B – Polaridade da Molécula.....	38
APÊNDICE 2.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

A compreensão sobre as ligações químicas é fundamental para o entendimento da constituição da matéria e das propriedades físico-químicas das substâncias. Apesar de sua importância, esse conteúdo é frequentemente apontado como um dos mais abstratos e desafiadores para os estudantes do Ensino Médio, em grande parte por exigir a articulação entre diferentes níveis de representação: o macroscópico, o submicroscópico e o simbólico. A ausência de referências visuais claras, aliada a abordagens didáticas tradicionalmente expositivas, contribui para a dificuldade na construção de significados sobre esse tema.

Nesse cenário, o uso de modelos torna-se indispensável para o ensino de Química. Isto porque eles permitem que os estudantes observem estruturas moleculares e compreendam, de forma mais efetiva, conceitos como tipos de ligação, geometria molecular e polaridade. Aliado a isso, o avanço das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC), especialmente os *softwares* de modelagem molecular e os simuladores interativos, para o ensino de conteúdos abstratos de forma mais interativa, dinâmica e próxima da realidade dos alunos.

Ainda com relação às TDIC, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018) reconhece a importância da inserção delas no processo de ensino-aprendizagem. A BNCC orienta que os estudantes busquem dados e informações de forma crítica nas diferentes mídias e que utilizem, proponham e/ou implementem soluções envolvendo diferentes tecnologias para identificar, analisar, modelar e solucionar problemas complexos. Nesse contexto, o desenvolvimento de uma atividade que integre o uso de *softwares* de modelagem molecular e simuladores ao ensino de ligações químicas se mostra uma estratégia promissora para tornar o conteúdo mais acessível, visual e significativo.

Assim, este trabalho propõe a elaboração de uma atividade voltada ao ensino de ligações químicas, utilizando *softwares* de modelagem molecular e os simuladores interativos, como recurso pedagógico. A atividade busca não apenas favorecer a aprendizagem conceitual dos alunos, mas também desenvolver habilidades cognitivas e digitais, alinhando-se às diretrizes da BNCC e às demandas contemporâneas da área de Educação em Ciências.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de uma atividade para o ensino de ligações covalentes no Ensino Médio, que utilizam *softwares* de modelagem¹ molecular. O objetivo principal é promover a visualização de estruturas e compreensão dos compostos moleculares favorecendo a aprendizagem de conceitos abstratos como: tipo de ligação, geometria molecular e polaridade.

1

¹ Entende-se por modelagem, neste contexto, a ação cognitiva e prática de construção de modelos. O uso do *software* visa permitir que o estudante atue como construtor de representações para fenômenos submicroscópicos, indo além da simples observação.

3 REFERENCIAIS TEÓRICOS:

3.1 A Importância do Ensino e Aprendizagem de Ligações Químicas

O meio material ao nosso redor, com suas formas, propriedades e valores, reflete a enorme variedade de maneiras como os átomos se ligam para formar compostos. Por isso, as ligações químicas representam um assunto de fundamental importância, e seu conhecimento é essencial para um melhor entendimento das transformações que ocorrem em nosso mundo. As substâncias, como as que compõem os alimentos e combustíveis, ao formarem ou romperem ligações químicas, respectivamente, fornecem ou absorvem energia; outras interagem dando origem a novos compostos ou facilitam a dissolução de resíduos em um meio fluido (solventes, detergentes). Desse modo, a dinâmica das ligações químicas acaba regendo a nossa vida (Toma,1997).

Além disso, ao analisarmos a BNCC, percebemos que grande parte das competências específicas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT) no Ensino Médio só pode ser plenamente desenvolvida por meio do uso direto ou indireto dos conhecimentos sobre ligações químicas. Essa relação é evidente nas seguintes habilidades, que envolvem a aplicação desse conteúdo:

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.

(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas,

arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

(EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

Considerando o papel central que as ligações químicas desempenham tanto da matéria quanto na estruturação do currículo, o desenvolvimento de melhores estratégias didáticas para o ensino desse conteúdo é essencial. Tais estratégias devem focar em superar a abstração inerente ao tema, garantindo que os estudantes construam uma compreensão que lhes permita, de fato, analisar a composição, a reatividade e as propriedades dos materiais para cumprir as exigências de raciocínio e intervenção crítica propostas pelas competências da Base Nacional Comum Curricular.

3.2 Modelos Teóricos Para o Ensino de Ligações Químicas

De acordo com Duarte (2001), o avanço da mecânica quântica, especialmente a partir da resolução da equação de Schrödinger, possibilitou compreender de forma mais profunda a relação entre as propriedades químicas dos elementos e sua estrutura eletrônica.

O autor ressalta que a ligação química pode ser entendida como a interação entre dois átomos ou grupos de átomos, processo que envolve o rearranjo de elétrons para originar uma nova entidade química. Propriedades periódicas como o potencial de ionização e a afinidade eletrônica contribuem para compreender a natureza dessa interação. Quando um átomo doa elétrons e outro os recebe, formam-se íons (cátions e ânions), que interagem por forças eletrostáticas, originando uma ligação. A natureza dessa ligação dependerá diretamente da forma como ocorre a reorganização eletrônica (Duarte, 2001).

No campo teórico, para Duarte (2001), diferentes modelos auxiliam a explicar a ligação química. A Teoria da Ligação de Valência (TLV) é amplamente utilizada no estudo de compostos orgânicos, sobretudo por sua aplicabilidade qualitativa. De acordo com essa teoria, a ligação ocorre quando dois orbitais com um elétron cada se superpõem construtivamente.

Entretanto, como observa o autor, a TLV apresenta limitações, uma vez que tende a supervalorizar o caráter covalente da ligação e não contempla adequadamente o caráter iônico, o qual se torna relevante sempre que a ligação envolve átomos de eletronegatividades distintas.

Já a Teoria dos Orbitais Moleculares (TOM), conforme apontado por Duarte (2001), propõe uma abordagem mais abrangente, considerando tanto o caráter covalente quanto o iônico da ligação. Embora a TLV seja útil por gerar naturalmente as estruturas de Lewis baseadas no compartilhamento de elétrons, mostra-se limitada ao tratar de moléculas com elétrons desemparelhados em seu estado fundamental.

De modo geral, segundo o autor, toda interação entre átomos, agregados atômicos ou moléculas que resultem em um estado de equilíbrio e diminuição da energia do sistema caracteriza uma ligação química. Essa interação pode variar em intensidade, mas as mais fortes são tradicionalmente classificadas em três tipos: iônica, covalente e metálica, fundamentais para a formação e compreensão da estrutura da matéria.

Apesar da solidez desses modelos teóricos, Lima et al. (2024) trazem à complexidade desses modelos o contexto dos desafios inerentes ao ensino e à aprendizagem da ligação química, cuja natureza é submicroscópica e abstrata. Nessa perspectiva, a eficácia do aprendizado depende diretamente da capacidade do estudante de abstrair e compreender o modelo apresentado, que funciona como uma ferramenta para explicar um fenômeno invisível, mas empiricamente comprovado.

A visão construtivista defendida por Lima et al. (2024) enfatiza que a aprendizagem de Ciências ocorre à medida que os alunos constroem, interpretam e modificam suas representações da realidade com base em suas experiências. Desse modo, a teoria sugere que os estudantes buscam incorporar representações mentais de novos conceitos, adaptando seus conhecimentos prévios a partir das informações fornecidas pelo educador para, por fim, edificarem sua própria compreensão.

Para tanto, torna-se essencial o desenvolvimento visual e da habilidade espacial, visto que o aluno gera suas próprias imagens mentais ao ouvir ou ler o material apresentado. Lima et al. (2024) destacam que a Química, enquanto disciplina conceitual, utiliza modelos para explicar conceitos, descrever e relacionar o mundo submicroscópico com as propriedades

macroscópicas da matéria, além de envolver a utilização de teoremas e cálculos algébricos. Desse modo, as habilidades de alfabetização visual são cruciais para que os alunos de Química consigam compreender as estruturas e funções de moléculas a partir das várias representações que lhes são apresentadas. A integração dos modelos teóricos (TLV e TOM) com estratégias que priorizam a abstração e a representação visual é, portanto, o caminho para o ensino eficaz da ligação química.

3.3 As Tecnologias Digitais da Informação e Computação no Ensino de Química

Fernandez e Marcondes (2006) destacam a preocupação de que o tema "ligação química", além de ser abstrato, apresenta-se distante das experiências cotidianas dos alunos. Para compreender o estudo da química, os estudantes precisam ir além da observação direta e serem capazes de construir e interpretar modelos. As autoras também ressaltam que o trabalho com modelos é essencial para o conhecimento químico e sem eles, a Química se reduz à simples descrição de propriedades macroscópicas e suas transformações.

Com o avanço acelerado da computação, tornaram-se cada vez mais acessíveis diversos programas de modelagem molecular, baseados em Mecânica Clássica ou Mecânica Quântica (Toma, 1997). Esse quadro tem se intensificado nesses últimos anos, o que amplia significativamente as possibilidades de visualização e compreensão das estruturas moleculares.

Além disso, a BNCC reconhece que o desenvolvimento tecnológico tem tornado a computação e as TDIC cada vez mais presentes no cotidiano. Seja na escola, no trabalho ou em casa, impactando especialmente as novas gerações. Diante desse cenário, torna-se essencial que a escola prepare os estudantes para atuarem como cidadãos críticos e reflexivos, capazes de analisar, interpretar e questionar os conteúdos que consomem, desenvolvendo, assim, uma postura ativa frente aos desafios de um mundo cada vez mais digital e conectado.

Para o tema Ligações Químicas, essa incorporação acontece principalmente através dos softwares de modelagem molecular, que geram a representação gráfica e tridimensional (3D) das estruturas para manipulação espacial, e dos simuladores interativos, que utilizam modelos computacionais para simular fenômenos e permitem que o aluno altere variáveis, promovendo a experimentação virtual e interativa.

Os Softwares Educacionais (SE) caracterizam-se como sendo recursos digitais que podem ser usados e reutilizados como auxílio no processo de aprendizado. Potencializando e contribuindo de forma significativa nas melhorias da aprendizagem dos alunos (Batista et al., 2016).

Para Costa e Tavares (2019), os softwares de simulação têm surgido como uma nova opção no ensino de química, visando substituir as representações pictóricas, esquemáticas e os modelos estáticos anteriormente utilizados, proporcionando uma melhor compreensão conceitual.

Sendo assim, incorporar as TDIC ao ensino de Química é não apenas viável, mas altamente desejável. Além de poder tornar as aulas mais conectadas com a realidade dos estudantes, essas ferramentas oferecem recursos que enriquecem o trabalho com modelos químicos, facilitando a compreensão de conceitos complexos e contribuindo para uma aprendizagem mais significativa.

3.4 A Importância Do Ensino Por Meio Das Metodologias Ativas

Segundo Santos et al. (2024), o ensino de conceitos estruturantes da Química, como as ligações químicas, ainda é frequentemente marcado por simplificações, memorização excessiva e abordagens excessivamente abstratas. Essa prática torna o conhecimento descontextualizado e pouco significativo para o estudante, o que pode levar a distorções conceituais e à perda da compreensão efetiva dos conteúdos.

Nesse contexto, os autores trazem o modelo tradicional de ensino, centrado na figura do professor como detentor exclusivo do saber, que reduz o aluno a um papel passivo de “recipiente” que recebe informações sem questionar ou atribuir sentido ao que aprende, evidenciando sua limitação em promover aprendizagens críticas. Embora métodos tradicionais tenham valor, não garantem uma formação integral, sendo necessário recorrer a metodologias que favoreçam a construção ativa do conhecimento, como as metodologias ativas.

Desta forma, as metodologias ativas configuram-se como estratégias centradas na participação efetiva dos estudantes, permitindo que estes assumam o protagonismo no

processo de aprendizagem, enquanto o professor atua como mediador. Assim, os conceitos deixam de ser apenas memorizados e passam a ser compreendidos de forma mais profunda, com maior potencial de assimilação.

Mesmo em contextos diversificados de ensino, a aprendizagem só ocorre quando o estudante apresenta motivação, curiosidade e envolvimento intelectual. Trindade e Hartwig (2012) reforçam que, sem a participação ativa do aluno, os resultados tendem a ser tímidos, ainda que sejam empregadas metodologias inovadoras, como a gamificação, a sala de aula invertida, o ensino híbrido ou a aprendizagem baseada em problemas (PBL).

Além disso, o artigo de Santos et al. (2024) traz que a construção do conhecimento pode ser fortalecida pela articulação entre os conteúdos didáticos e práticas experimentais. Quando os alunos são estimulados a realizar experimentos ou jogos educativos, o aprendizado pode se tornar mais atrativo e significativo, permitindo-lhes assumir o papel de sujeitos ativos do processo e relacionar a Química a aspectos éticos e sociais. Nesse mesmo contexto, os simuladores digitais surgem como ferramentas inovadoras que auxiliam na compreensão de conceitos abstratos, como os relacionados às ligações químicas. Eles permitem a visualização dinâmica de fenômenos invisíveis e podem ser utilizados em conjunto com práticas colaborativas e investigativas. Dessa forma, quando integrados às metodologias ativas, tanto os experimentos quanto os simuladores potencializam o engajamento, a autonomia e a participação efetiva dos estudantes, tornando o processo de aprendizagem mais interativo, contextualizado e significativo.

Por fim, observa-se que as dificuldades de aprendizagem em Química decorrem, em grande medida, da permanência de metodologias tradicionais que não dialogam com o perfil dos estudantes contemporâneos. Conforme apontam Santos et al. (2024), metodologias ativas e a contextualização dos conteúdos podem favorecer o engajamento, a compreensão e a aprendizagem duradoura, uma vez que se mostram mais adequadas às demandas atuais, que exigem aulas participativas, dinâmicas e interativas.

4 REVISÃO DE LITERATURA

Os diversos modelos teóricos e analogias que explicam as ligações químicas, quando não utilizados adequadamente, podem prejudicar a construção do conhecimento. Nesse contexto, esta seção tem como objetivo apresentar e discutir propostas pedagógicas que contribuam para o ensino das ligações químicas em sala de aula.

Nessa perspectiva, Milaré (2006) apresentou as concepções alternativas dos estudantes do Ensino Médio sobre ligações químicas, buscando analisar como essas concepções podem estar relacionadas à forma como o tema é abordado nos livros didáticos de Ciências da oitava série do Ensino Fundamental. A autora, mostra como muitas dessas concepções equivocadas têm origem no próprio processo de ensino, especificamente nos livros didáticos utilizados no Ensino Fundamental, que, ao tratar o tema de forma inadequada ou simplista, acabam contribuindo para a formação e fixação dessas ideias errôneas.

Entre as concepções alternativas mais encontradas nos livros analisados destacam-se: a utilização da regra do octeto como explicação para as ligações químicas, o antropomorfismo (atribuição de características humanas aos átomos) e a confusão entre as ligações iônica e covalente. Adicionalmente, as categorias relacionadas à energia envolvida nas ligações e à geometria molecular foram pouco abordadas, ou até negligenciadas, nos materiais didáticos.

Normalmente, os livros didáticos apresentam uma tendência de oferecer explicações simplificadas e descontextualizadas, favorecendo a memorização ao invés da compreensão mais profunda dos conceitos. Dessa forma, existe uma relação clara entre as concepções alternativas dos estudantes e as abordagens presentes nos livros didáticos.

Nessa mesma linha de investigação, Pazinato (2017) examinou como a compreensão inadequada do conceito de estabilidade química pode se tornar um obstáculo para o aprendizado das ligações químicas por estudantes do Ensino Médio, particularmente quando esse conceito é simplificado à regra do octeto. Conforme demonstra o estudo, essa associação exclusiva entre estabilidade química e a regra do octeto limita uma compreensão mais ampla e científica das ligações químicas. Os resultados indicam que o desenvolvimento conceitual dos estudantes pode avançar com intervenções didáticas bem estruturadas, como no caso da Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) aplicada no estudo.

Metodologicamente, a pesquisa seguiu os princípios da abordagem qualitativa e teve como sujeitos estudantes da primeira série do Ensino Médio. Para coleta de dados, foram utilizados questionários aplicados antes, durante e após o desenvolvimento da SEA sobre o tema ligações químicas. Vale destacar que a SEA foi aplicada pelos professores responsáveis pelas turmas e organizada em quatro eixos: Energia, Ligação iônica, Ligação covalente e Ligação metálica. Neste trabalho, são apresentados os resultados obtidos no eixo "Energia".

Na fase inicial, as concepções predominantes eram realistas e fortemente influenciadas pelo senso comum (44,8%). Posteriormente, após a aplicação da SEA, 72,4% dos estudantes passaram a adotar uma visão mais racionalista, compreendendo que a estabilidade química se relaciona com a diminuição da energia potencial. Notavelmente, mesmo sem ser mencionada na SEA, a regra do octeto ainda teve impacto, aparecendo em 27,6% das respostas, o que claramente evidencia sua persistência como um obstáculo epistemológico.

Em síntese, conclui-se que houve uma evolução conceitual clara ao longo da SEA, com uma transição das concepções realistas para as racionalistas. Entretanto, a regra do octeto se mostrou um obstáculo resistente, frequentemente associada à ideia de estabilidade de forma automática. Do ponto de vista metodológico, a abordagem baseada em zonas filosóficas (realismo, empirismo, racionalismo) se mostrou eficaz para diagnosticar o desenvolvimento do pensamento científico dos alunos. Portanto, a superação de obstáculos epistemológicos exige estratégias didáticas que incentivem a reflexão, o debate e a modelagem, com foco nos aspectos energéticos das ligações químicas.

Carvalho e Justi (2005) afirmam que, embora a analogia do "mar de elétrons" seja amplamente utilizada no ensino, ela não é bem compreendida pelos estudantes, o que compromete seu valor didático. Segundo as autoras, é fundamental discutir explicitamente os limites e o papel explicativo dessa analogia, visando promover uma reflexão crítica que contribua para uma compreensão mais adequada do modelo científico.

Quanto à metodologia, a coleta de dados foi realizada por meio de um questionário escrito, composto por cinco questões. Na primeira, solicitava-se que os alunos expressassem, por meio de desenhos e descrições, suas próprias ideias sobre como os átomos de ferro se mantêm unidos. A segunda questionava o que entendiam pela expressão "mar de elétrons". Por sua vez, a terceira procurava saber se essa analogia os ajudava, de fato, a entender como

os metais são formados. Na quarta, os alunos deveriam refletir sobre possíveis problemas no uso da expressão "mar de elétrons" em relação à formação dos metais. Finalmente, a quinta questão pedia uma explicação sobre o porquê os metais conduzem corrente elétrica.

De acordo com as análises de Carvalho e Justi (2005), apenas 10% dos estudantes compreenderam corretamente a analogia, relacionando-a à movimentação de elétrons entre cátions. Além disso, cerca de 30% associaram-na apenas à ideia de "elétrons livres", sem demonstrar clareza conceitual. Mais preocupante ainda, 92,5% dos participantes não reconheceram as limitações da analogia, aceitando-a como uma explicação absoluta. Igualmente relevante, apenas 29% conseguiram utilizá-la corretamente para explicar a condução elétrica. Em decorrência disso, a maioria dos alunos não foi capaz de justificar a coesão entre os átomos metálicos nem de aplicar a analogia de forma consistente para interpretar propriedades dos metais.

Diante desses resultados, fica evidente que a analogia do "mar de elétrons" é, em geral, mal compreendida e pouco explorada de forma crítica no ensino. Por conseguinte, é fundamental discutir suas potencialidades e limitações, distinguindo-a do modelo teórico mais atual. Além disso, o estudo sugere uma maior integração entre os ensinamentos de Química e Física, com o intuito de que os alunos consigam relacionar a ligação metálica com conceitos como corrente elétrica. Nesse sentido, cabe ao professor considerar os conhecimentos prévios dos estudantes e favorecer a construção de modelos mentais coerentes, evitando o uso de analogias didáticas.

Ampliando essa discussão, Toma (1997) discute os diversos modelos teóricos utilizados para explicar as ligações químicas, desde o modelo clássico de Lewis até os mais avançados, como os modelos de orbitais moleculares e de bandas, dando ênfase a suas implicações no ensino de Química no nível Médio.

A tese central do autor sustenta que não há um modelo único ou absoluto para explicar as ligações químicas. Pelo contrário, é fundamental compreender a utilidade de diferentes modelos em contextos específicos. Nessa visão, a escolha de qual modelo utilizar no ensino deve levar em conta o modelo atômico adotado e os objetivos pedagógicos. Assim, Toma (1997) defende uma abordagem crítica, contextualizada e progressiva, capaz de promover uma construção significativa do conhecimento.

Especificamente, o autor reconhece que o modelo de Lewis, apesar de útil e didático, apresenta limitações, principalmente no que diz respeito aos aspectos energéticos e geométricos das moléculas. Em contrapartida, o modelo de Linnett, ao incorporar o spin dos elétrons, amplia essa explicação e possibilita o tratamento de propriedades magnéticas. De modo similar, a Teoria dos Orbitais Moleculares (TOM), fundamentada na Mecânica Quântica, permite discutir ligações químicas em termos de energia, simetria, espectroscopia e ordem de ligação. Por outro lado, a teoria de bandas é essencial para compreender as propriedades condutoras de metais e semicondutores.

A partir dessas considerações, Toma (1997) destaca que a modelagem molecular e o uso de *softwares* educacionais constituem ferramentas promissoras para o ensino de Química. Nessa perspectiva, restringir o ensino de ligações químicas a um único modelo é inadequado. Desse modo, o autor propõe uma abordagem que valorize a diversidade de modelos, respeitando o nível cognitivo dos estudantes. Consequentemente, o uso progressivo e contextualizado desses modelos pode favorecer uma compreensão mais crítica da estrutura da matéria. Ademais, o ensino deve preparar os alunos para lidar com representações tridimensionais, simetria molecular e interações intermoleculares, de modo a promover a integração de conceitos de forma mais significativa.

Na mesma direção, o artigo de Silva, Júnior e Pires (2017) apresenta uma pesquisa realizada com alunos da terceira série do Ensino Médio, cujo objetivo principal foi investigar os benefícios do uso do *software ChemSketch*® no processo de ensino-aprendizagem de estruturas moleculares tridimensionais. A justificativa para tal estudo baseia-se no fato de que a Química, por lidar com representações simbólicas e abstratas, frequentemente apresenta desafios à compreensão dos alunos, sobretudo no que concerne à visualização das geometrias moleculares.

Em termos metodológicos, a pesquisa foi organizada em duas etapas. Na primeira fase, os alunos participaram de uma aula tradicional expositiva utilizando apenas quadro, giz e livro didático. Em seguida, realizaram uma atividade em que deveriam representar estruturas de moléculas orgânicas a partir do nome sistemático e da fórmula molecular. Os achados dessa etapa revelaram que a maioria dos alunos teve dificuldades em expressar conceitos relacionados à tridimensionalidade e à diferenciação entre átomos e ligações.

Na etapa subsequente, foi introduzido o uso do *software ChemSketch®*, que permite a construção e visualização de estruturas moleculares em duas (2D) e três (3D) dimensões. Após uma aula com esse recurso, os alunos repetiram a atividade anterior. Os resultados demonstraram uma melhora significativa na qualidade das representações feitas, com maior atenção à geometria, cores, tamanhos dos átomos e distribuição espacial das ligações. Mais ainda, os alunos demonstraram maior compreensão dos conceitos e relataram que a aula com o uso do *software* foi mais interessante e proveitosa.

Em suas conclusões, os autores afirmam que o *ChemSketch®* é um recurso didático eficaz, que contribui para a aprendizagem significativa de conteúdos complexos da Química. Outro aspecto relevante é que o *software* permite uma abordagem interdisciplinar, integrando conhecimentos da Química, Biologia e Geografia, além de favorecer discussões contextualizadas com foco em questões ambientais e sociais, alinhadas ao enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Por fim, o estudo também ressalta a importância do papel do professor como mediador no uso das tecnologias, deixando claro que recursos digitais devem complementar, e não substituir, as práticas pedagógicas bem planejadas.

Diante de todo o exposto, conclui-se que os estudos apresentados e discutidos demonstram potencialidades significativas, passíveis de adaptação em um novo conjunto de atividades, especialmente no que tange à superação da abstração através da modelagem molecular.

No entanto, a literatura também impõe uma restrição metodológica fundamental: Embora os softwares sejam potencialidades, eles possuem limitações que exigem planejamento. Os recursos digitais não substituem as práticas pedagógicas e exigem o papel do professor como mediador. A eficácia do software depende da qualidade do planejamento e da mediação para evitar que o recurso se torne uma atividade dirigida sem reflexão conceitual.

5 METODOLOGIA

Este trabalho se propôs a elaborar e desenvolver em sala de aula uma atividade voltada ao ensino de Ligações Químicas no Ensino Médio, utilizando softwares de modelagem molecular e simuladores interativos. A proposta foi fundamentada em referenciais teóricos da área de Ensino de Química e da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), visando tornar mais visual e significativo o aprendizado de conteúdos tradicionalmente reconhecidos como abstratos e desafiadores.

A intervenção ocorreu em uma turma da primeira série do Ensino Médio da rede pública de Belo Horizonte, sendo articulada por meio de uma disciplina optativa da qual a autora participava. A professora responsável pela disciplina intermediou o contato com a escola e com a turma do período noturno selecionada. Cabe ressaltar que a professora-pesquisadora já vinha acompanhando essa turma há aproximadamente um mês. A atividade foi realizada nos dias 20 e 21 de outubro.

A turma acompanhada, pertencente ao turno noturno, caracterizou-se por um perfil de baixo engajamento e por um corpo discente reduzido, variando entre 15 e 20 alunos. Observou-se significativa oscilação na assiduidade dos estudantes entre as aulas. Adicionalmente, o grupo foi descrito pelo professor regente como à turma de mais baixo rendimento acadêmico da primeira série.

O trabalho é de natureza qualitativa e de caráter bibliográfico-aplicado, com foco na produção e estruturação de material didático. A metodologia foi desenvolvida em três etapas principais:

A primeira etapa da metodologia envolveu uma revisão de literatura sobre os principais desafios relacionados ao ensino de ligações químicas, buscando compreender os obstáculos conceituais enfrentados pelos estudantes e os limites das abordagens tradicionais. Foram consultadas também pesquisas sobre o uso de modelos e representações visuais no ensino de Química, além de estudos que discutem o papel das TDIC no processo de ensino-aprendizagem de conceitos científicos.

A segunda etapa consistiu na seleção e análise de softwares de modelagem molecular e alguns simuladores interativos, considerando critérios como: acessibilidade, interface intuitiva, capacidade de representação tridimensional e viabilidade de uso no contexto escolar. Entre os programas avaliados, destacam-se o Avogadro, MolView, Phet, ChemSketch e o LabVirt, todos gratuitos e com potencial didático para o ensino de conteúdos estruturais da Química.²

A revisão de literatura evidenciou uma ampla variedade de softwares disponíveis, o que ressalta a necessidade de uma avaliação rigorosa para selecionar a ferramenta mais adequada aos objetivos do trabalho.

Inicialmente, o Avogadro seria utilizado, um software de visualização molecular que já havia sido referenciado em estudos sobre o ensino de ligações químicas no Ensino Superior. A ideia era adaptar sua aplicação para o Ensino Médio. Contudo, essa adaptação não se demonstrou viável devido à sua complexidade. Para que fosse possível, por exemplo, observar a densidade eletrônica das moléculas, era necessário baixar e instalar extensões, tornando muito complexo.

Como a primeira opção não se mostrou viável, uma nova pesquisa foi conduzida com o auxílio de trabalhos de revisão sobre esses softwares. Foram realizadas análises preliminares por meio de tutoriais no YouTube para compreender melhor o funcionamento das ferramentas. Os softwares que oferecem recursos avançados, como a visualização da densidade eletrônica, mostraram-se demasiadamente complexos para alunos do Ensino Médio. Programas mais simples, como o MolView e o ChemSketch, embora de fácil manuseio, não eram interessantes para o estudo de ligações químicas, mas foram avaliados como potencialmente úteis para o trabalho com estruturas orgânicas, por exemplo.

Diante da dificuldade em encontrar um software de visualização molecular que se adequasse aos pré-requisitos didáticos, mudou-se o foco para simuladores interativos, que até então estavam ausentes das leituras iniciais feitas para este trabalho. Os principais

² Os links de acesso aos programas são: **Avogadro**: <https://avogadro.cc/> (Software de modelagem molecular); **MolView**: <https://molview.org/> (Visualizador e editor de moléculas online); **Phet Interactive Simulations**: <https://phet.colorado.edu/> (Simulações interativas, incluindo de Ligações Químicas); **ChemSketch (ACD/Labs)**: <https://www.acdlabs.com/products/percepta/chemsketch/> (Software para desenho de estruturas químicas); **LabVirt (USP)**: <https://www.labvirt.fe.usp.br/> (Laboratório Virtual da USP).

simuladores retratados na literatura são o PhET e o LabVirt. Durante o período de análise, o site do LabVirt encontrava-se indisponível por motivo desconhecido, o que impediu qualquer análise dessa ferramenta. Em contrapartida, o simulador PhET Colorado mostrou-se muito simples, com interface intuitiva e de fácil interação, além de apresentar diversas simulações relevantes.

A escolha pelo PhET Interactive Simulations não se deu apenas pela sua disponibilidade e usabilidade, mas, principalmente, pelo seu embasamento teórico-pedagógico. O PhET é um projeto fundado em 2002 pelo laureado com o Prêmio Nobel, Carl Wieman, e está sediado na University of Colorado Boulder. Sua concepção é profundamente ancorada em extensa pesquisa na área de educação científica, visando criar um ambiente de aprendizado eficaz e intuitivo.

O objetivo central do projeto é desenvolver simulações interativas gratuitas que facilitem a compreensão de conceitos abstratos em Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM). As simulações são projetadas para engajar os estudantes ativamente, permitindo que eles aprendam através da exploração e descoberta, manipulando variáveis e observando as consequências em tempo real, um diferencial fundamental para o tema Ligações Químicas.

O público-alvo do PhET é vasto, abrangendo professores e estudantes desde o Ensino Fundamental até o Ensino Superior, com simulações categorizadas para as áreas de Física, Química, Biologia, Matemática e Ciências da Terra. A eficácia e o alcance do projeto são evidentes em seu impacto global: o PhET reporta um quantitativo superior a 1.5 bilhão de execuções de simulações em todo o mundo, atestando sua relevância como ferramenta de apoio ao ensino de ciências.

A princípio, o objetivo era utilizar o simulador para abordar os diferentes tipos de ligações químicas. No entanto, as simulações que mais se adequavam ao nível e aos objetivos do trabalho eram aquelas focadas em ligações covalentes. Sendo assim, a atividade a ser desenvolvida foi definida para abordar exclusivamente o tema das ligações covalentes.

A próxima etapa foi o desenvolvimento da atividade, estruturada em momentos didáticos que dialogassem com os objetivos de aprendizagem e com os recursos digitais

utilizados. Foram definidos os conteúdos dos roteiros das atividades, os materiais complementares, os recursos de visualização molecular e as sugestões de avaliação. Todo o planejamento foi elaborado em consonância com as competências e habilidades previstas na BNCC para a área de Ciências da Natureza.

Os seguintes objetivos de aprendizagem específicos retirados do site do simulador, guiaram o desenvolvimento da atividade e a interação com os softwares de modelagem e simulação:

Representação Química:

- Descrever a diferença entre um átomo e uma molécula.
- Construir moléculas simples a partir de átomos.
- Diferenciar o coeficiente do índice em uma fórmula química.
- Construir moléculas a partir da fórmula química.
- Associar nomes comuns de moléculas a múltiplas representações.
- Experimentar combinar átomos para construir moléculas maiores.

Interações Atômicas:

- Explicar como as forças atrativas e repulsivas governam a interação entre os átomos.
- Descrever o efeito da profundidade do poço de potencial nas interações atômicas.
- Comparar o potencial de um par de átomos ligados com o de pares de átomos não ligados.
- Descrever as ligações como dinâmicas e os comprimentos das ligações como distâncias médias.

Polaridade e Ligações Químicas:

- Prever a polaridade da ligação usando valores de eletronegatividade.
- Classificar as ligações em ordem de polaridade.
- Prever a polaridade molecular usando a polaridade das ligações e a forma molecular.

Além dos materiais didáticos (plano de aula e roteiros de atividades), um Formulário de Avaliação da Aula foi desenvolvido como instrumento de avaliação da intervenção

pedagógica. Este formulário, de caráter anônimo, teve o objetivo de coletar dados qualitativos e quantitativos sobre a percepção dos estudantes em relação à eficácia da metodologia e ao uso dos simuladores PhET.

As questões do formulário focaram em aspectos como a gestão do tempo da aula (Questão 1), a autoavaliação da compreensão do conteúdo de ligações covalentes após a atividade (Questões 2 e 3), a validação do uso da ferramenta digital (Questão 4) e a identificação de dificuldades ou preferências de recursos de aprendizagem (Questões 5 e 6). Este formulário completo está disponibilizado no Apêndice 2.

Por fim, foi feita a construção final do material e aplicação, organizado em formato descritivo e composto por plano de aula, orientações para o professor, propostas de atividades práticas e instruções para o uso dos softwares selecionados.

A proposta busca, portanto, oferecer uma ferramenta pedagógica relevante e acessível, que contribua para tornar o ensino de ligações químicas mais concreto, visual e significativo para os estudantes.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Apresentação e Estrutura da Atividade Desenvolvida

Esta seção é dedicada à apresentação, análise e discussão da experiência de aplicação da atividade: “Ligações Covalentes”, realizada com estudantes do Ensino Médio. Este relato de experiência, objetiva refletir criticamente sobre os desafios, e a contribuição metodológica da atividade para o processo de ensino-aprendizagem de Química. O foco central da análise é confrontar os resultados obtidos com os objetivos iniciais de superar a abstração conceitual por meio da modelagem proporcionada pelos simuladores PhET, visando relacionar a estrutura molecular com suas propriedades.

6.1.1. Contextualização, Objetivos e Alinhamento Curricular

A atividade foi planejada para mitigar o desafio comum na Química de relacionar a estrutura submicroscópica (ligações) com as propriedades macroscópicas. O PhET foi escolhido por sua interface intuitiva, que permite a manipulação direta de conceitos como compartilhamento de elétrons e densidade eletrônica, visando o desenvolvimento da interpretação visual dos estudantes.

A atividade foi organizada em três momentos distintos, alinhando-se diretamente à competência da Base Nacional Comum Curricular (BNCC):

EM13CNT307: Analisar as propriedades dos materiais (diretamente ligado ao Momento 3, onde a polaridade define a solubilidade).

Quadro 1: Simuladores PhET, Habilidades e Funcionalidades

Momento (Parte)	Simulador PhET	Habilidade em Foco	Funcionalidades/Possibilidades

1 (A)	Construindo Moléculas	Identificar o compartilhamento de elétrons e a regra do octeto.	Permite ao estudante arrastar átomos para formar moléculas (ex: O ₂ , H ₂ O), visualizar a ligação química e os elétrons de valência para confirmar o octeto. Foco na representação 2D e 3D.
2 (B)	Interações Atômicas	Relacionar a formação das ligações com a estabilidade energética (mínimo de energia potencial).	Possibilita a manipulação da distância entre dois átomos e visualização simultânea do gráfico de energia potencial (U) versus distância (r). Permite identificar o ponto de mínimo de energia como a distância ideal de ligação.
3 (C)	Polaridade da Molécula	Diferenciar a polaridade de ligações e moléculas, manipulando o vetor momento de dipolo.	Permite ajustar a eletronegatividade dos átomos, visualizar a distribuição de carga (cargas parciais δ^- e δ^+) e o vetor momento de dipolo da ligação. Na seção "Três Átomos", o estudante pode alterar a geometria para ver a polaridade molecular resultante.

6.2. Análise e Discussão dos Dados da Aplicação

A avaliação da intervenção foi realizada por meio de um Formulário de Avaliação da Aula – Ligações Covalentes, detalhado no Apêndice 2. Este instrumento teve como principal objetivo a percepção dos estudantes sobre a metodologia, o uso do simulador PhET e a autoavaliação do aprendizado. O formulário foi aplicado imediatamente após o término da atividade.

O alto índice de respostas positivas na questão 4: “ O uso dos simuladores ajudou você a compreender melhor os conteúdos abordados nas aulas?” serve como ponto de partida para a discussão. As respostas frequentes, como "ajudou muito" e "sim, facilitou muito o aprendizado", indicam a potencialidade da ferramenta.

No entanto, o relato da experiência em cada momento revela as nuances sobre quando e como a tecnologia transformadora.

O resultado positivo percebido na construção de moléculas (Momento 1) é corroborado pelas respostas da Questão 4. Com o feedback visual imediato do simulador sobre a Regra do Octeto (estabilidade) foi perceptível o auxílio da ferramenta no aprendizado, mostrando o potencial da simulação para a aquisição de habilidades procedimentais básicas.

A dificuldade conceitual observada no Momento 3 (Polaridade da Molécula) é espelhada nas respostas à Questão 5. Quais foram suas maiores dificuldades durante a aula? A resposta mais frequente, "eletronegatividade", evidencia que, apesar da clareza da interface do simulador, a lacuna conceitual prévia sobre a eletronegatividade não foi suprida pela mera manipulação da ferramenta. Isso sustenta a discussão de que o simulador não é autossuficiente, exigindo uma mediação docente robusta para transformar a visualização em compreensão teórica.

As respostas à Questão 6. Que tipo de atividade ou recurso mais te ajuda a aprender Química? (com a frequência de "experimento e simulações") confirmam que o estudante do Ensino Médio valoriza metodologias ativas e recursos visuais. Isso reforça a relevância da

intervenção, ao alinhar a prática pedagógica com as preferências de aprendizado discente, mesmo que a eficácia dependa da qualidade do planejamento e da mediação.

Portanto, os dados, embora majoritariamente positivos, funcionam como um diagnóstico que aponta tanto para o possível sucesso da aplicação quanto para o desafio da mediação (superar conceitos abstratos como a eletronegatividade).

6.2.1. Momento 1: A Representação das Ligações

A experiência concentrou-se na superação da barreira da representação plana (Lewis) para a compreensão espacial das ligações. A necessidade de nivelamento conceitual inicial reforçou a dificuldade desses conceitos.

A dinamização do aprendizado ocorreu quando o simulador "Construindo Moléculas" (Figura 1 e Figura 2) forneceu feedback visual e imediato sobre a estabilidade. A ação de "juntar" os elementos, buscando a estabilidade (Regra do Octeto), superou a dificuldade inicial. Os alunos, ao construírem as moléculas de O_2 (Figura 3) e o N_2 (Figura 4), conseguiam "observar que o oxigênio realiza duas ligações covalentes [...] e o nitrogênio 3 ligações", transformando a regra em uma consequência lógica da necessidade eletrônica do átomo.

O impacto motivacional, pelo alto engajamento e pela fala de um aluno, anteriormente desinteressado: "desse jeito a aula ficou muito mais fácil de entender". Demonstra como a tecnologia pode facilitar o tratamento de conteúdos abstratos para o desenvolvimento de habilidades procedimentais.

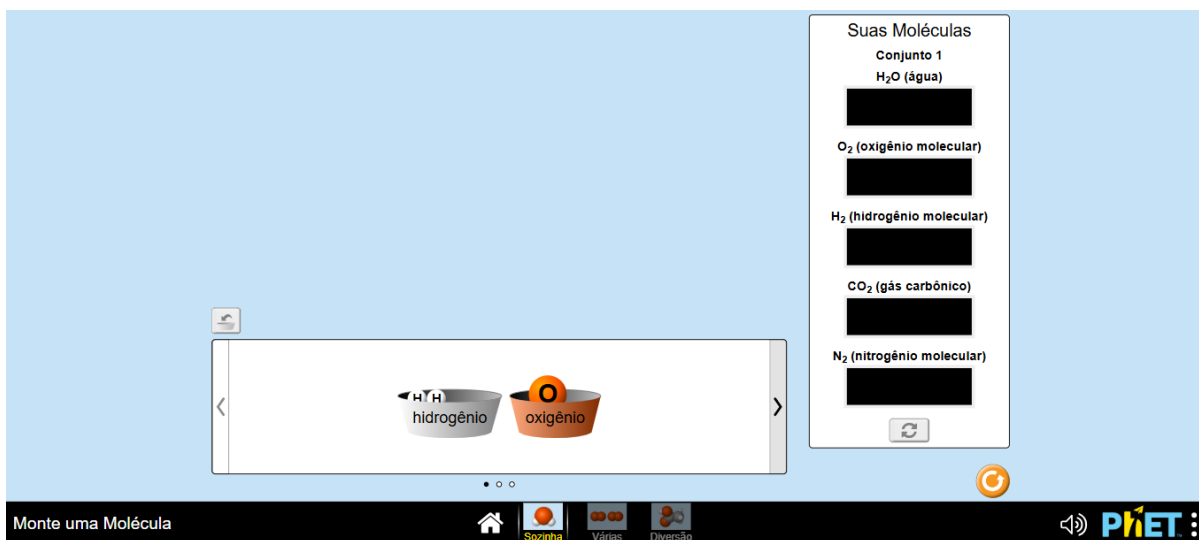


Figura 1: *screenshot* da tela inicial do simulador PhET Monte uma Molécula

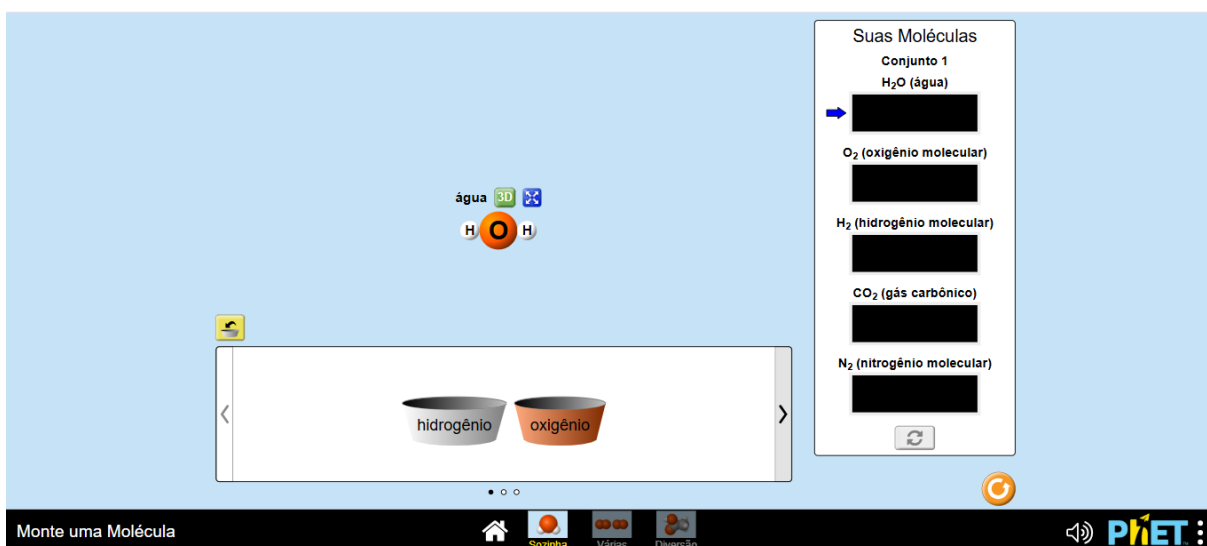


Figura 2: *screenshot* da tela do simulador PhET Monte uma Molécula, mostrando um exemplo de molécula montada.

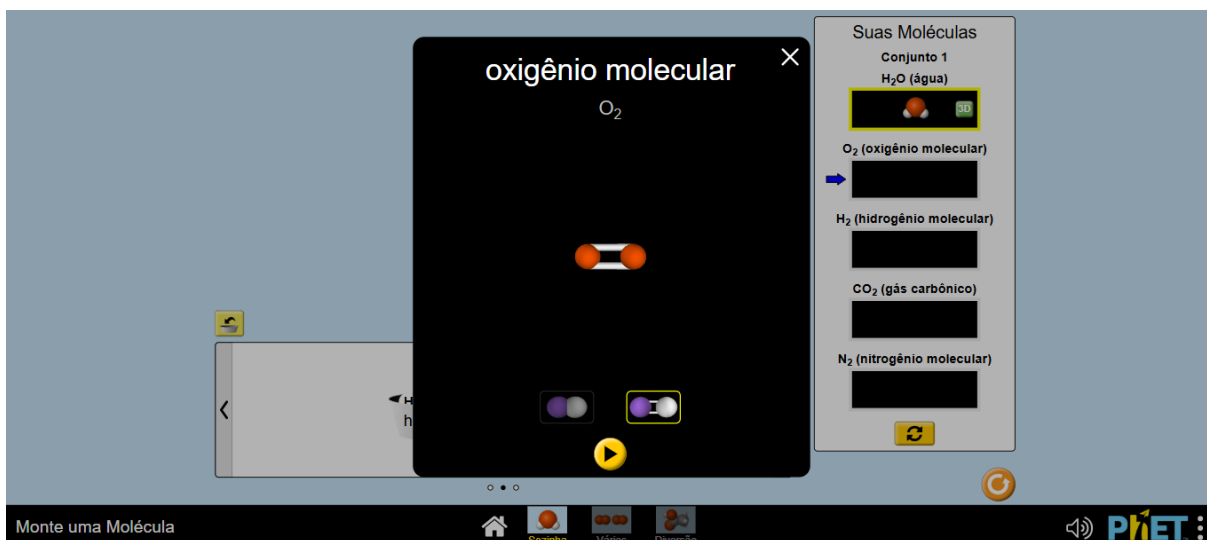


Figura 3: *screenshot* da tela do simulador PhET Monte uma Molécula, mostrando as ligações da molécula de O_2 .

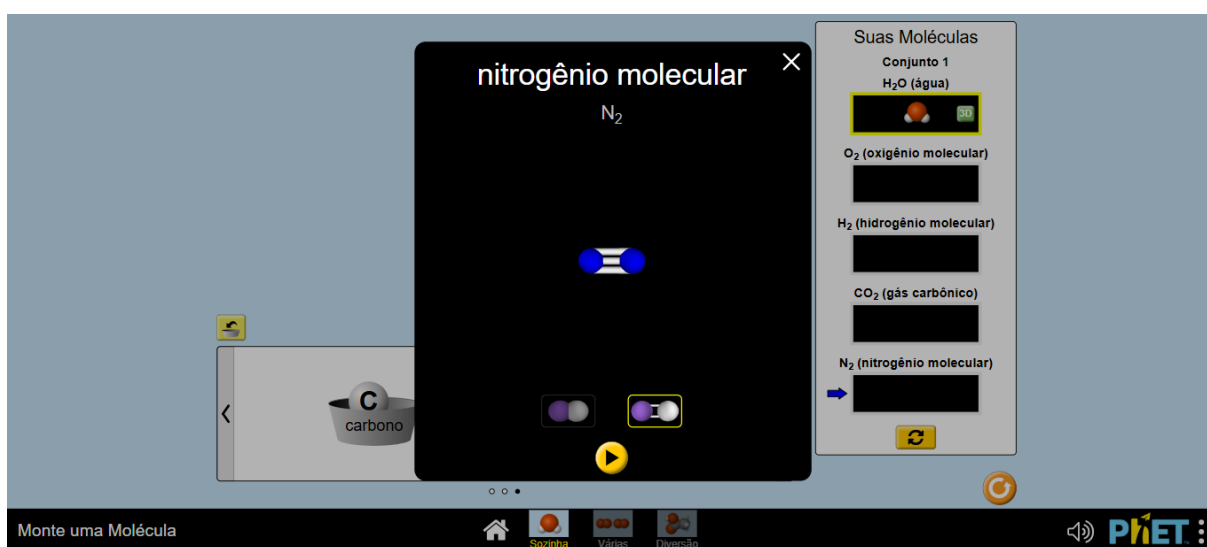


Figura 4: *screenshot* da tela do simulador PhET Monte uma Molécula, mostrando as ligações da molécula de N_2 .

6.2.2. Momento 2: Estabilidade Energética

O Momento 2, que visava utilizar o simulador "Interações Atômicas" para abordar a estabilidade energética (mínimo de energia potencial), foi adaptado. A etapa prática foi

removida da atividade impressa, a pedido do professor titular, devido à preocupação com o "nível de abstração conceitual do gráfico de energia potencial"(ver exemplo na Figura 5).

A forma utilizada para contornar a necessidade de abordar o tema foi através de uma mediação conceitual verbal durante o Momento 1, onde a professora buscou conectar a estabilidade eletrônica ("Octeto") com a estabilidade energética ("a energia dos átomos é menor quanto eles estão ligados").

Embora a explicação tenha garantido que o princípio conceitual fosse mencionado, o aprendizado foi comprometido. A supressão da experiência manipulativa e visual impediu que os alunos analisassem o gráfico de energia potencial em função da distância interatômica. Como resultado, o aprendizado ficou restrito a uma informação declarativa e não a uma construção mediada pela visualização gráfica.

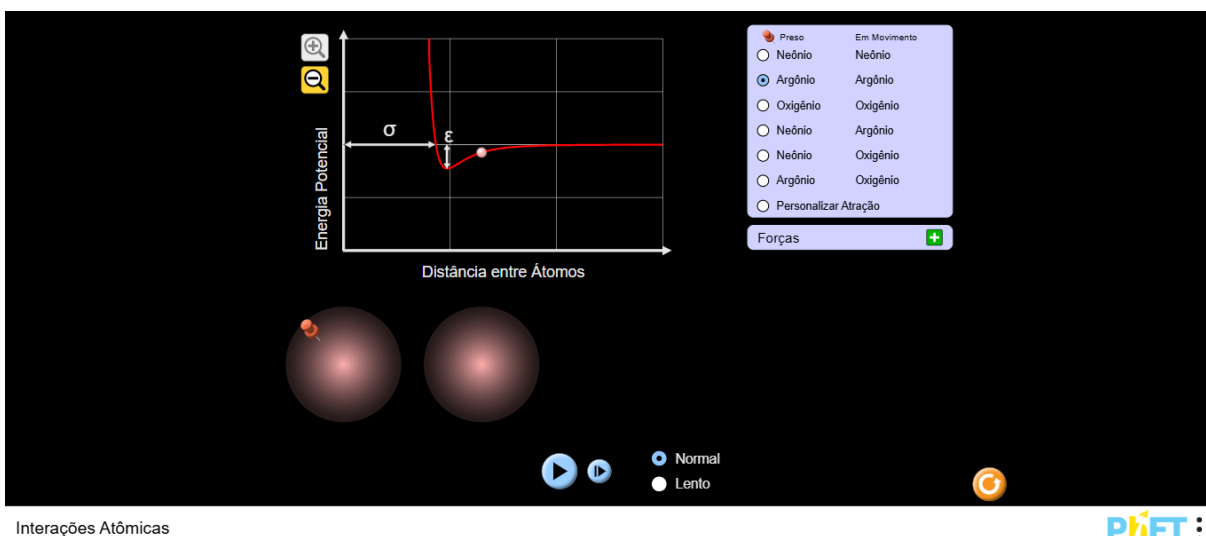


Figura 5: *screenshot* do PhET Interações Atômicas mostrando o gráfico de Energia Potencial vs. Distância Interatômica do átomo de Argônio.

6.2.3. Momento 3: Polaridade da Molécula

No Momento 3, na Polaridade da Molécula (vetor momento de dipolo e densidade eletrônica) revelou que a abstração conceitual inerente ao tema foi a principal barreira. Diferentemente do sucesso do Momento 1, onde o feedback era a estabilidade, aqui o

feedback (o vetor e a nuvem de elétrons, como vistos nas **Figura 6** e **Figura 7**) dependia de uma compreensão teórica profunda da Eletronegatividade.

A dinâmica da aula refletiu a dificuldade conceitual: houve baixo engajamento e a falta de autonomia dos alunos. Este ponto reforça a limitação esperada para qualquer TDIC, que, embora apresente potencialidades, não é um recurso didático autossuficiente. A mediação docente é sempre necessária.

O resultado do relato de aula — "Com o uso desta segunda simulação, percebi muitas dificuldades conceituais dos alunos, que dificultaram o aproveitamento da aula. Os alunos também não demonstraram muito engajamento na segunda simulação igual foi na primeira" — indica que o design da atividade ou o próprio simulador para este tema não forneceu o feedback lógico e intuitivo complementar a teoria.

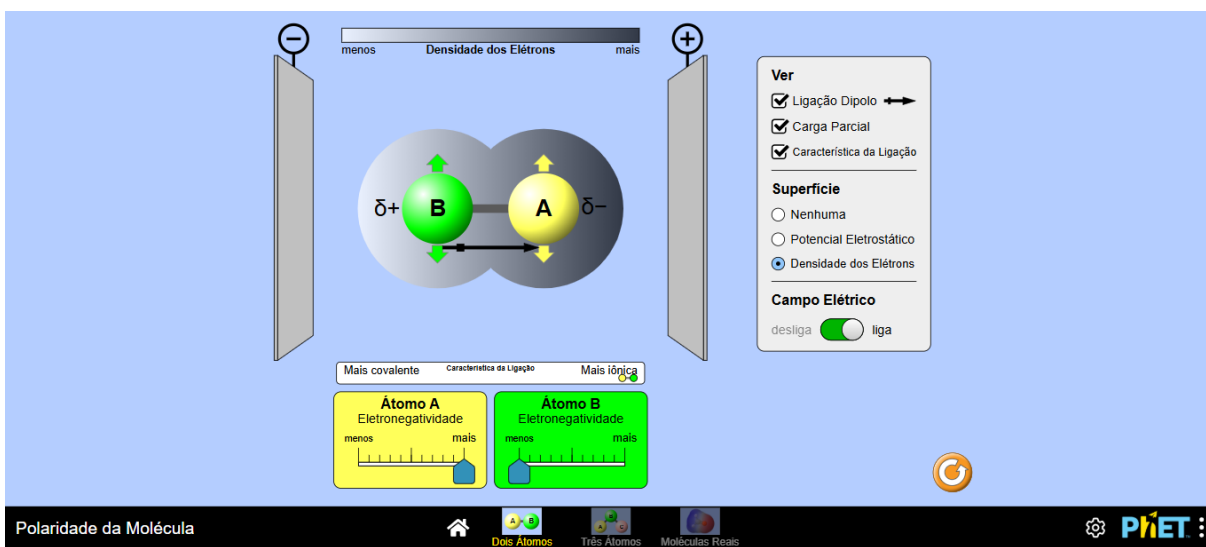


Figura 6: *screenshot* do simulador PhET Polaridade da Molécula (Dois Átomos) mostrando as cargas parciais, característica da ligação, eletronegatividade dos átomos e a nuvem de densidade eletrônica (as cores que indicam cargas parciais).

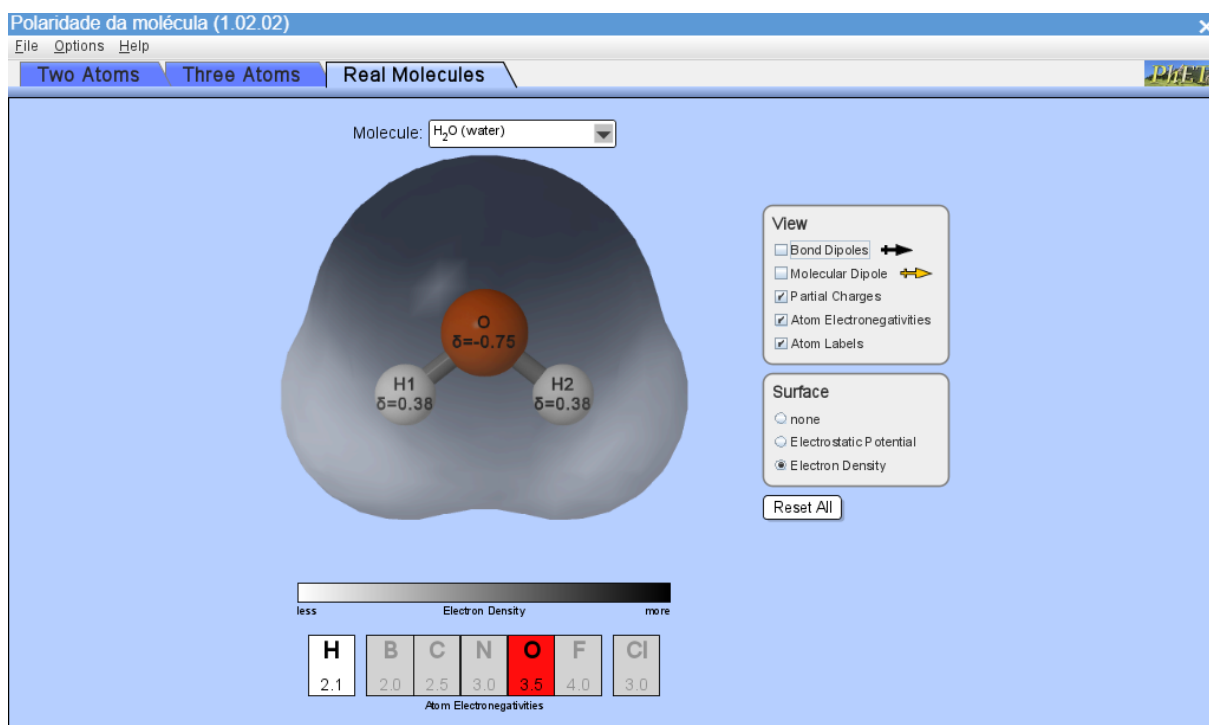


Figura 7: screenshot do simulador PhET Polaridade da Molécula (moléculas reais) mostrando as cargas potenciais, eletronegatividade dos átomos e a nuvem de densidade eletrônica.

6.3 Implicações Pedagógicas e Reflexões sobre a Mediação Tecnológica

A análise dos três momentos da experiência revela implicações pedagógicas fundamentais para o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no ensino de Química.

O Poder da Mediação para Habilidades Procedimentais: O sucesso do Momento 1 mostra a eficácia do simulador PhET como uma poderosa ferramenta para o ensino de habilidades procedimentais e visuais (construção de moléculas, geometria). Ao proporcionar feedback visual imediato complementar à teoria, o simulador pode ajudar à superar as barreiras da representação 2D.

O Limite da Ausência Visual e a Aprendizagem Declarativa: Em contraste, o Momento 2 evidencia o risco de se negligenciar a visualização em favor da explicação verbal. A falha em fornecer uma experiência manipulativa resultou em um aprendizado meramente declarativo, restringindo o aluno à memorização de fatos em vez da construção de uma

compreensão baseada em gráficos e forças. Isso reforça que, para conceitos de difícil visualização, a tecnologia pode ser uma ferramenta útil e sua omissão pode comprometer o processo de ensino-aprendizagem.

O Desafio da Abstração Conceitual e a Mediação Crítica: Por fim, o Momento 3 aponta para a limitação da tecnologia quando confrontada com uma alta barreira conceitual (Polaridade Molecular). O baixo engajamento e a persistente dificuldade demonstraram que a mera presença do simulador não garante o aprendizado. Exigiu a alta mediação da professora, indicando que, para tópicos complexos, a eficácia do simulador depende de um design de atividade mais estruturado e intencional. O professor deve guiar o aluno a interpretar o feedback visual (o vetor, a densidade eletrônica) à luz da teoria, transformando a visualização em evidência conceitual, e não apenas em uma ilustração.

Em síntese, a experiência demonstra o potencial das simulações (PhET) no ensino de Química, mas ressalta que seu impacto positivo é maximizado quando alinhado à natureza do conteúdo: sucesso em habilidades procedimentais intuitivas e necessidade de mediação crítica e intencional para auxiliar no trabalho de conceitos de alta abstração.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho alcançou seu objetivo de analisar a contribuição de um conjunto de atividades mediadas por simulações PhET no ensino de Ligações Covalentes. Os resultados demonstraram que a intervenção pedagógica foi eficaz em diferentes níveis, mas com nuances críticas.

O Momento 1 demonstrou como o auxílio das simulações pode ajudar à diminuir à barreira da abstração visual e procedimental, elevando significativamente o engajamento e a autonomia. Contudo, a análise dos momentos subsequentes mostrou que a exclusão da visualização no Momento 2 limitou o conhecimento a nível declarativo, e a insuficiência do feedback intuitivo do simulador e as limitações conceituais no Momento 3 revelou a necessidade de maior mediação do professor em temas de alta abstração conceitual.

A principal contribuição deste estudo reside, portanto, de que o suporte pedagógico proporcionado pelas TIDCs no ensino de Química é diretamente dependente da natureza do conceito e do design da atividade proposta.

As implicações pedagógicas deste trabalho sugerem que, ao planejar aulas de Química com TIDCs, é importante que os professores considerem:

Priorizar TIDCs para maior auxílio em superação de barreiras visuais e procedimentais (ex.: Geometria Molecular), aproveitando a autonomia parcial que estas ferramentas proporcionam.

Garantir a presença da visualização em conceitos de difícil representação (ex.: Energia Potencial), reconhecendo a tecnologia como uma necessidade pedagógica para a construção de modelos submicroscópicos.

Desenvolver designs de atividades com mediação mais estruturada e intencional para temas que exigem uma base teórica robusta (ex.: Polaridade), auxiliando o aluno a interpretar o feedback visual como evidência conceitual.

No que tange à atuação da professora-pesquisadora, a implementação do conjunto de atividades representou um significativo aprimoramento profissional. Visto que as atividades

baseadas em simulação rompem com a linearidade do ensino tradicional, a experiência prática foi indispensável para compreender as nuances dessa dinâmica. Essa vivência mostrou-se essencial, pois, além de enriquecer o repertório pedagógico da docente, permitiu uma reflexão crítica sobre os desafios e potenciais do uso de simuladores.

Para pesquisas futuras, sugere-se a aplicação de um estudo comparativo que mensure o ganho de aprendizagem entre grupos que utilizam o simulador no Momento 3 com diferentes níveis de mediação (autônomo vs. guiado), a fim de determinar a melhor estratégia didática para conceitos de alta abstração.

APÊNDICE 1

Ligações Químicas - Ligação Covalente

Por que os átomos se ligam?

Parte A – Construindo Moléculas

1. Acesse o site: https://phet.colorado.edu/pt_BR/
2. Acesse o simulador Construindo Moléculas.
3. Monte as seguintes moléculas: H_2 , O_2 , N_2 , H_2O , CH_4 .
4. Responda:

a) Qual diferença você percebe entre a ligação no O_2 e no N_2 ?

b) Explique com suas palavras o que significa “compartilhamento de elétrons”.

Parte B – Polaridade da Molécula

5. Acesse o site: https://phet.colorado.edu/pt_BR/
6. Acesse o simulador Polaridade da Molécula.
7. Construa as moléculas: H_2O , CO_2 , CH_4 , NH_3 .
8. Observe atentamente a distribuição da densidade eletrônica ao redor dos átomos.
9. Responda:

a) Como a diferença de eletronegatividade entre os átomos de cada molécula influencia na distribuição de elétrons?

b) A eletronegatividade contribui para o tipo de ligação química? Como?

APÊNDICE 2

Formulário de Avaliação da Aula – Ligações Covalentes

Este formulário tem como objetivo avaliar a aula realizada com o uso dos simuladores PhET. Sua opinião é muito importante para aperfeiçoarmos a prática pedagógica. Não é necessário se identificar.

1.O tempo destinado (50 min) foi suficiente para realizar as atividades propostas?

2. Após a aula, como você avalia sua compreensão sobre ligações covalentes?

3. Há algo que você ainda não entendeu completamente e gostaria que fosse retomado?

4. O uso dos simuladores ajudou você a compreender melhor os conteúdos abordados nas aulas?

5. Quais foram suas maiores dificuldades durante a aula?

6. Que tipo de atividade ou recurso mais te ajuda a aprender Química (simulações, exercícios, explicações, experimentos, vídeos etc.)?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, G. C.; LIMA, A. R.; CRISÓSTOMO, L. C. S.; MARINHO, M. M.; MARINHO, E. S. Softwares para o ensino de química: ChemSketch® um poderoso recurso didático. **Redin - Revista Educacional Interdisciplinar**, Faccat, Taquara, v. 5, n. 1, p. 110-124, 2016.

BRASIL. **Ministério da Educação**. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 8 jul. 2025.

CARVALHO, Nilmara B.; JUSTI, Rosária S. Papel da analogia do “mar de elétrons” na compreensão do modelo de ligação metálica. **Enseñanza de las Ciencias**, n. extraordinário, p. 1-4, 2005.

COSTA, H. C.; TAVARES, P. C. O. Simuladores Virtuais de Ensino no Contexto das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação: O SIMUQUIM, um Estudo de Caso para o Ensino de Cinética Química. **Revista de Ensino de Química**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 60-72, 2025.

DUARTE, Hélio A. Como ensinar ligações químicas? **Química Nova na Escola**, n. 13, p. 3-9, maio 2001.

LIMA, R. P. W.; FIGUEIREDO, L. G.; MACHADO, S. G.; FILHO, E. A. S. O Processo de Aprendizagem de Química à luz da Teoria Construtivista: Uma Abordagem para o Ensino de Ligações Químicas. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 46, n. 2, p. 195-201, maio 2024.

MACHADO, A. S. Uso de Softwares Educacionais, Objetos de Aprendizagem e Simulações no Ensino de Química. **Química nova na escola**, v. 38, n.2, p. 104-111, 2016.

MILARÉ, Tathiane. Ligações iônica e covalente: relações entre as concepções dos estudantes e dos livros de Ciências. **Química Nova na Escola**, v. 24, n. 3, p. 20-24, 2006.

PAZINATO, Mauricius Selvero; BRAIBANTE, Mara Elisa Fortes; MIRANDA, Ana Carolina Gomes. Estabilidade química: um obstáculo para a construção do conhecimento em ligações químicas. **Enseñanza de las Ciencias**, s/v, n. extraordinário, p. 1441-1446, 2017.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. **Simulações Interativas para Ciência e Matemática**. Boulder: University of Colorado Boulder. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Acesso em: 7 de novembro de 2025.

SILVA, Cleberson Souza da; SOUZA JÚNIOR, Ernani Viana de; PIRES, Diego Arantes Teixeira. O uso de software de representação molecular em 3D como material didático interdisciplinar para o ensino de Química. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 66-79, 2017.

SANTOS, P. da S.; PASSÍFICO, C. de A. M.; SILVA, R. J. da C.; GARCIA, A. R. S. de M.; SENNA, D. R. de; SILVA, A. R. da; CALLEGARIO, L. J. Análises das dificuldades de aprendizagem de conceitos relacionados às ligações químicas. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 9, p. 01-14, 2024.

TOMA, Henrique E. Ligação química: abordagem clássica ou quântica? **Química Nova na Escola**, s/v, n. 6, p. 8-12, 1997.

TRINDADE, J. O.; HARTWIG, D. R. Uso combinado de mapas conceituais e estratégias diversificadas de ensino: uma análise inicial das ligações químicas. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 83-91, maio 2012.