

Prof. Dr. Paulo Henrique Guadagnini
Me. Rodrigo Monteiro Gusmão

Explorando a Química com modelos moleculares 3D: um guia didático para professores

Coleção Especial

Produtos Educacionais para Inovação
Tecnológica e Metodológica



12

Explorando a Química com modelos moleculares 3D

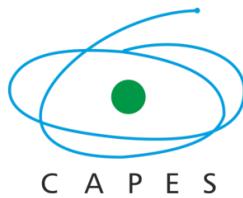
Coleção

Produtos Educacionais para Inovação Tecnológica e Metodológica no
Ensino de Ciências

Organizadores da Coleção

Ângela Maria Hartmann

Márcio André Rodrigues Martins



Coleção

Produtos Educacionais para Inovação Tecnológica e Metodológica no Ensino de Ciências

Reitor: Edward Frederico Castro Pessano

Vice-Reitora: Francéli Brizolla

Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação: Fabio Gallas Leivas

Pró-Reitor de Extensão: Franck Maciel Peçanha

Pró-Reitora de Graduação: Elena Maria Billig Mello

Financiamento:

Esta produção recebeu recursos financeiros da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES através do Edital 15/2023 - Programa Inova EaD (chamada para a apresentação de propostas de disseminação de produtos de inovação tecnológica voltados a todos os níveis de educação).

Apoio:

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

Execução:

Rede de Saberes Articulando Ciência, Criatividade e Imaginação - Rede SACCI

Conselho Editorial:

Daniel Maia

Mateus Matos

Fernando Britto

Hytto Harada

Diagramação:

Hoom Interativa



Este trabalho está licenciado sob CC BY-NC-ND 4.0.
Para ver uma cópia desta licença, visite:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Guadagnini, Paulo Henrique

Explorando a química com modelos moleculares 3D [livro eletrônico] : um guia didático para professores / Paulo Henrique Guadagnini, Rodrigo Monteiro Gusmão. -- Bagé, RS : Hoom Interativa, 2025. -- (Coleção produtos educacionais para inovação tecnológica e metodológica ; 12)

PDF

Bibliografia.

ISBN 978-65-83896-09-4

1. Ciências - Estudo e ensino 2. Ciências - Metodologia 3. Inovações educacionais 4. Prática pedagógica 5. Química - Estudo e ensino I. Gusmão, Rodrigo Monteiro. II. Título. III. Série.

25-278753

CDD-507

Índices para catálogo sistemático:

1. Ciências : Estudo e ensino : Metodologia 507

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

Sumário

1. Apresentação	5
2. Fundamentação	7
2.1 Modelos moleculares e o ensino de química	7
2.2 Representações químicas	11
3. Introdução à tecnologia de impressão 3D	13
3.1 Equipamento e processo de impressão	13
3.2 Fluxo de trabalho para impressão 3D	15
3.3 Impressão 3D na prática	17
4. Modelo molecular montável	23
4.1 Características do Kit de modelo molecular	23
4.2 Arquivos digitais das peças do Kit de modelo molecular	24
4.3 Dicas para impressão das peças do kit de modelo molecular	28
4.4 Utilização do Kit de modelo molecular	33
5. Propostas de Atividades Didáticas Utilizando o Kit de Modelo Molecular Impresso em 3D	38
5.1 Introdução	38
6. Considerações Finais:	41

1. Apresentação

Bem-vindo ao caderno didático “Explorando a Química com Modelos Moleculares 3D: Um Guia Didático para Professores”. Este material foi cuidadosamente elaborado para proporcionar aos professores uma ferramenta inovadora e eficaz para o ensino de conceitos fundamentais da química relacionados à estrutura das moléculas e cristais. O guia didático descreve o passo a passo de como utilizar um conjunto de arquivos digitais de peças para compor um kit de modelo molecular físico montável, que pode ser fabricado através de manufatura aditiva por impressão 3D. Apresentamos algumas sugestões de aplicações didáticas dos modelos moleculares 3D, que poderão ser modificadas ou adaptadas conforme as demandas de cada professor.

A introdução da impressão 3D na educação tem proporcionado novas formas de abordarmos o ensino de ciências, especialmente a química. Modelos moleculares físicos montáveis, que podem ser impressos em 3D, oferecem uma maneira tangível e interativa de explorar estruturas e interações moleculares. Este caderno didático visa promover a integração dessa tecnologia ao ambiente escolar, facilitando a compreensão de conceitos complexos por meio de representações tridimensionais tangíveis.

Neste caderno, você encontrará uma variedade de tópicos e atividades que abordarão desde a preparação e impressão dos modelos até a sua aplicação prática em sala de aula. Inicialmente, discutiremos uma introdução aos modelos moleculares e sua importância no ensino de química, além de conceitos básicos relacionados às estruturas atômicas e moleculares.

Em seguida, apresentaremos um guia prático sobre a tecnologia de impressão 3D com a técnica de fabricação por filamento fundido (FFF), incluindo os princípios de funcionamento do equipamento, o fluxo de trabalho e os detalhes práticos que devem ser observados para a impressão de qualidade. Em seguida, faremos uma discussão sobre como realizar a montagem de moléculas simples e complexas, utilizando os modelos impressos. Na parte final deste caderno didático, apresentaremos algumas sugestões de atividades práticas que integram os modelos moleculares ao currículo escolar, potencializando uma aprendizagem significativa e interativa.

Pretendemos que este caderno didático não seja apenas um guia técnico, mas também uma inspiração para que os professores inovem em suas práticas pedagógicas, tornando o ensino de química mais envolvente e acessível para todos os alunos. Através do uso de modelos moleculares 3D, esperamos fomentar a curiosidade científica, incentivar a experimentação e aprofundar a compreensão dos conceitos químicos.

Agradecemos por se juntar a nós nesta jornada educativa e esperamos que este caderno didático seja um recurso valioso em suas aulas de química. Vamos transformar a maneira como ensinamos e aprendemos química, tornando-a mais interativa, prática e divertida.

Boa leitura e bom trabalho!

2. Fundamentação

2.1 Modelos moleculares e o ensino de química

Segundo o filósofo francês Gaston Bachelard (Bachelard, 2000), os modelos científicos não são, por definição, cópias exatas da realidade, mas construções abstratas que ajudam os cientistas a compreender fenômenos complexos. Ele vê os modelos como ferramentas cognitivas que mediam a relação entre teoria e observação. Esses modelos são, portanto, essencialmente simplificações e idealizações da realidade, projetadas para facilitar a compreensão de alguns aspectos de fenômenos naturais. Os modelos científicos funcionam como mediadores entre o mundo teórico e o mundo empírico, permitindo que os cientistas tratem fenômenos complexos, tornando-os mais fáceis de compreender, visualizar e modelar, e explorem fenômenos que ocorrem em escalas inacessíveis à observação direta, como os processos atômicos e moleculares.

Modelos científicos e modelos didáticos são conceitos relacionados e complementares. Os modelos científicos são utilizados por cientistas para predizer, testar e modelar fenômenos naturais que são alvo de sua pesquisa científica. Por outro lado, os modelos didáticos podem ser considerados como representações simplificadas de conceitos, processos ou fenômenos físicos que auxiliam os estudantes a compreender ideias complexas através de analogias, simulações e representações virtuais ou físicas. Modelos didáticos desempenham um papel essencial no ensino de ciências, pois facilitam a transposição de conceitos abstratos para representações mais acessíveis e comprehensíveis para os estudantes (Gilbert & Boulter, 2000). Enquanto os modelos científicos visam aprofundar o entendimento e obter novos conhecimentos, os modelos didáticos traduzem esses conhecimentos em formas comprehensíveis, essenciais para uma transposição didática efetiva.

No contexto da química, os modelos moleculares físicos são exemplos de modelos didáticos. Eles são representações físicas das estruturas moleculares e atômicas que compõem a matéria, e podem auxiliar os estudantes a visualizar e compreender a organização tridimensional das moléculas, as ligações químicas entre átomos e as variações estruturais que levam a diferentes propriedades químicas e físicas. O uso de modelos moleculares tem sido amplamente estudado como uma ferramenta eficaz para o ensino de química, proporcionando uma forma visual e tátil de entender estruturas complexas que são frequentemente difíceis de serem compreendidas através de descrições textuais ou representações bidimensionais (Cass & Rzepa, 2005).

Um exemplo de modelo molecular físico representando a molécula de etanol é apresentado na Figura 1. Neste exemplo, as esferas pretas representam os átomos de carbono, as brancas os átomos de hidrogênio, a vermelha o átomo de oxigênio, e os bastões brancos que conectam os átomos representam as ligações químicas covalentes. Este tipo de modelo molecular é conhecido como modelo de bolas e bastões.

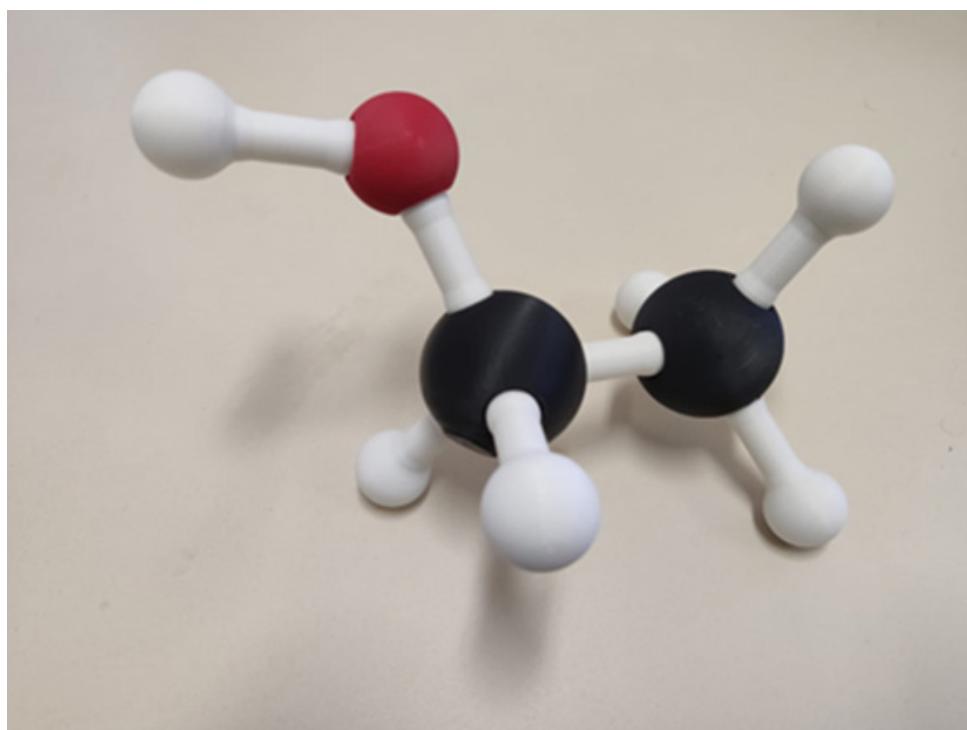


Figura 1 - Modelo molecular da molécula de etanol

Os modelos moleculares permitem que os estudantes visualizem e manipulem representações físicas de estruturas envolvidas em conceitos químicos como a geometria molecular, hibridização e isomeria, promovendo uma compreensão mais eficiente do arranjo espacial dos átomos. O uso desses modelos potencializa o desenvolvimento de habilidades de raciocínio espacial, cruciais para a compreensão da orientação das moléculas no espaço. Essas habilidades são essenciais para o aprendizado de conceitos abstratos, como os envolvidos no estudo da estrutura molecular e isomeria.

O professor interessado em utilizar modelos moleculares no ensino de química deve, entretanto, atentar a algumas considerações importantes. Como apontado anteriormente para o caso dos modelos científicos, os modelos didáticos também não são desenvolvidos para descrever exatamente a realidade com todas as suas nuances. Portanto, os modelos didáticos, como os modelos moleculares físicos, apresentam limitações que o professor deve ter consciência. Uma dessas limitações é a simplificação excessiva que é intrínseca a esses modelos, implicando na incapacidade de apresentar detalhes importantes sobre a natureza dinâmica das moléculas, mantendo o foco somente na sua estrutura, o que pode ser abordado através do uso complementar de simulações computacionais (de Jong & Van Joolingen, 1998).

O comportamento das estruturas em reações químicas, interações intermoleculares, a interação eletrostática entre átomos, a distribuição da densidade eletrônica e o movimento vibracional e rotacional não são contemplados nos modelos moleculares físicos, e normalmente exigem a aplicação complementar de modelos moleculares computacionais que contemplem a representação desejada.

O cenário recomendado para aplicações didáticas de modelos moleculares físicos é aquele no qual o professor está interessado em abordar conceitos relacionados à estrutura molecular e cristalina, isomeria geométrica e ótica, ou outros detalhes que não dependam da dinâmica das estruturas moleculares.

O uso eficiente de modelos moleculares físicos em aplicações didáticas depende de um planejamento didático adequado. Um possível problema que o professor deve atentar na aplicação de modelos moleculares físicos é o do reforço de concepções científicas equivocadas, especialmente as ideias de que as moléculas são rígidas e que as ligações sempre têm comprimentos e ângulos fixos, desconsiderando a flexibilidade e a dinâmica real das moléculas.

Cabe enfatizar que muitos modelos moleculares disponíveis para impressão 3D, e também disponíveis comercialmente, não permitem a rotação livre em torno de ligações simples, ou permitem a rotação livre em torno de qualquer ligação, inclusive ligações duplas e triplas. Essa característica pode induzir a concepções equivocadas e inviabilizar a aplicação de tais modelos em atividades de ensino de conceitos de isomeria geométrica. Nos modelos moleculares físicos apresentados neste caderno didático, as ligações duplas foram projetadas de modo a não permitir a rotação em torno de seu eixo, ao contrário das ligações simples, tornando possível desenvolver atividades para o ensino de conceitos de isomeria geométrica, ótica e conformacional.

2.2 Representações químicas

Em 1982, o químico Alex H. Johnstone (Johnstone, 1991) introduziu o conceito de que as representações na química podem ser categorizadas em três níveis distintos. O primeiro nível é descriptivo e funcional, envolvendo a compreensão das propriedades e comportamentos das substâncias, e fornecendo uma visão macroscópica dos fenômenos químicos. O segundo nível é o atômico e molecular, que se aprofunda na estrutura da matéria. Ele explora a constituição das substâncias em termos de átomos e moléculas, revelando como as partículas se organizam e interagem para formar diferentes substâncias químicas. Este aspecto é vital para entender as reações químicas e as transformações que ocorrem em nível molecular. O terceiro nível é o representacional, que abrange as diversas formas de representar conceitos químicos, como fórmulas químicas estruturais, equações químicas, modelos tridimensionais de moléculas e diagramas.

Estes três níveis de representações químicas, representados na Figura 2, que são chamados de (i) macroscópico e tangível, (ii) molecular e invisível e (iii) simbólico e matemático, são inter-relacionados, e a habilidade de transitar entre esses níveis é de grande importância para o entendimento da química, sendo que modelos tridimensionais podem atuar como uma ponte eficaz entre esses níveis de representação (Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2003).

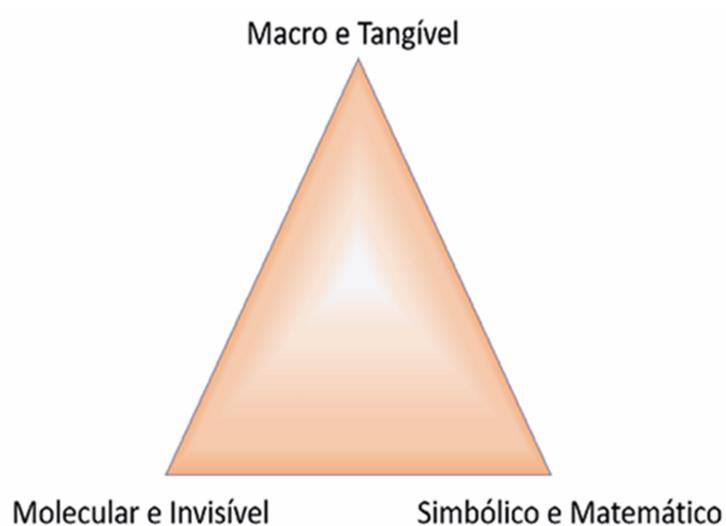


Figura 2 Triângulo de representações de Johnstone

Em métodos tradicionais de ensino de química, há uma maior ênfase no nível de representação simbólico e matemático, em que os alunos observam estruturas moleculares representadas em duas dimensões em livros, quadros ou telas de computador. Tais representações são geralmente abstratas e, por vezes, desafiadoras, especialmente quando aplicadas a temas como isomeria geométrica e ótica. Os modelos moleculares físicos podem ser considerados como uma forma de abordar a representação no nível molecular e invisível, e potencialmente facilitar o trânsito entre esses níveis.

No contexto da isomeria, por exemplo, a capacidade de montar e desmontar os modelos moleculares para diferentes isômeros facilita a compreensão de como a disposição e orientação dos átomos influenciam as propriedades da molécula, e permite também a associação com as representações no papel, na forma de fórmulas moleculares e outras representações químicas. Os modelos moleculares físicos atuam como uma ponte entre as representações simbólica e molecular-invisível, oferecendo uma abordagem mais concreta e intuitiva para conceitos químicos complexos.

3. Introdução à tecnologia de impressão 3D

3.1 Equipamento e processo de impressão

As impressoras 3D mais comuns em uso na atualidade utilizam o processo de manufatura aditiva por fusão de filamento fundido (FFF). Neste processo, os objetos tridimensionais físicos são criados adicionando-se um polímero fundido, camada sobre camada, de acordo com as instruções contidas em um arquivo digital. O processo utiliza um filamento de polímero, sendo os mais utilizados o ácido polilático (PLA) e o acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS). O filamento, que é armazenado em um rolo, é impulsionado por um sistema de aperto binário até a cabeça de impressão, que consiste em um bloco aquecido que funde o filamento a uma temperatura controlada.

Na extremidade inferior da cabeça de impressão, o filamento é forçado a passar por um orifício de diâmetro reduzido, que é comumente chamado de bico de impressão, e onde ocorre o processo de extrusão do polímero fundido. O material extrudado é depositado, camada por camada, pela cabeça de impressão que se move de acordo com a sequência de coordenadas definidas no arquivo digital.

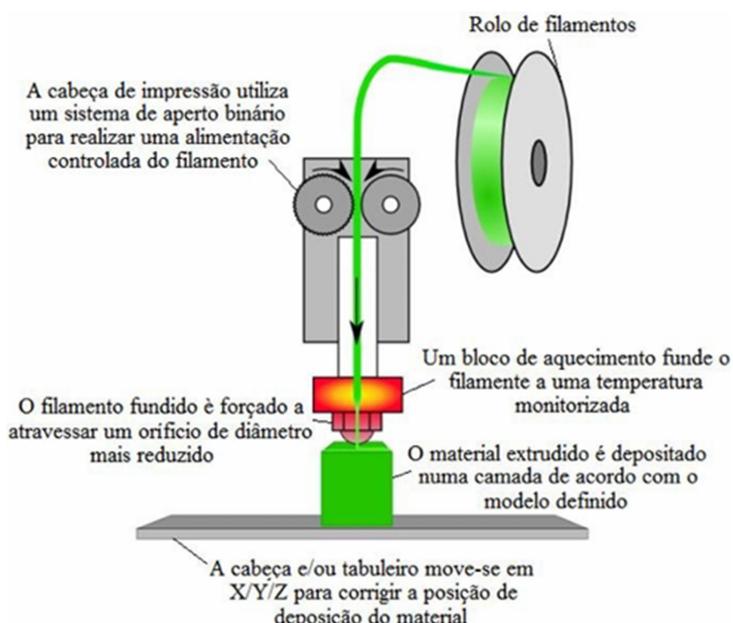


Figura 3 Diagrama esquemático dos componentes de uma impressora 3D que opera com o processo de fusão de filamento fundido

A Figura 3 mostra um esquema de funcionamento da impressora 3D com o processo de impressão por fusão de filamento fundido, com os seus diferentes componentes (rolo de filamentos, sistema de tração do filamento, cabeça de impressão, bico de impressão e a mesa de impressão). Além dos componentes indicados na Figura 3, a impressora 3D ainda utiliza um mecanismo motorizado para movimentação da cabeça de impressão e/ou da mesa de impressão, e possui uma estrutura para suportar os mecanismos. O gabinete da impressora pode ser aberto, como no modelo indicado na Figura 4a, ou fechado, como no modelo indicado na Figura 4b.

As impressoras de gabinete fechado permitem a impressão de boa qualidade com filamentos como o de ABS, que necessitam de uma temperatura mais elevada, constante e homogênea durante a impressão para que não ocorram deformações na peça sendo impressa. Normalmente, as impressoras abertas são de custo mais baixo e são utilizadas para impressão com filamentos de polímero PLA, que fundem em temperaturas mais baixas e apresentam menor tendência à deformação durante a impressão.

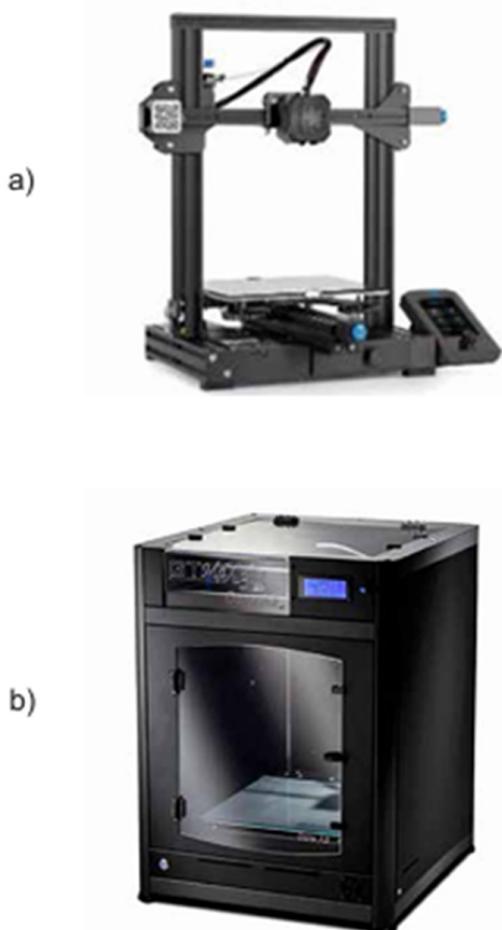


Figura 4 Modelos de impressoras 3D que operam com o processo fusão de filamento fundido do tipo (a) aberta e (b) fechada

3.2 Fluxo de trabalho para impressão 3D

O processo de impressão de um objeto físico em uma impressora 3D não é direto e simples como o da impressão de um texto em uma impressora comum. Para impressão 3D de um objeto, é necessário seguir um fluxo de trabalho apresentado na Figura 5.

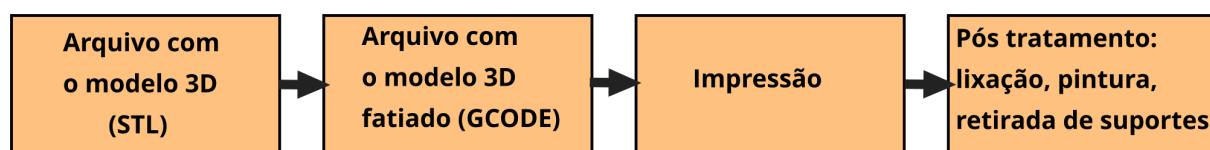


Figura 5 - Fluxo de trabalho para impressão 3D de um objeto

Inicialmente, o modelo 3D da peça deve ser criado utilizando-se um aplicativo de projeto assistido por computador (CAD), ou obtido a partir de um repositório de modelos prontos. Neste caderno didático, abordaremos a opção de obter o arquivo digital pronto a partir do repositório Thingiverse, que pode ser acessado pelo endereço <https://www.thingiverse.com/>.

Este é um dos repositórios mais populares de modelos 3D prontos e serve como uma plataforma comunitária onde usuários de todo o mundo podem compartilhar, explorar e baixar modelos 3D para impressão. Thingiverse é um repositório relevante para educadores, especialmente no campo da educação STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática).

Professores podem encontrar e utilizar modelos 3D para compor atividades práticas em sala de aula, como modelos anatômicos e peças para experimentos de física e química.

O arquivo gerado pelo aplicativo de CAD, ou obtido a partir de um repositório, normalmente é disponibilizado no formato digital STL ou OBJ, que descrevem a superfície do objeto utilizando uma malha de triângulos. Este tipo de arquivo não pode ser utilizado diretamente para impressão 3D, e necessita de um processamento por um aplicativo classificado como fatiador.

Na próxima etapa do fluxo de trabalho, usa-se um aplicativo fatiador que divide o objeto a ser impresso em camadas horizontais finas, que correspondem ao plano de cada camada que a impressora irá depositar. Este processo inclui a conversão da geometria do modelo em um caminho que o extrusor (cabeça de impressão) seguirá para depositar o filamento fundido. Após o fatiamento, o aplicativo gera um arquivo do tipo GCode, que contém um conjunto de instruções que a impressora segue para criar o objeto. Este arquivo GCode contém comandos específicos para movimentos de eixos, controle de temperatura, extrusão de filamento e demais parâmetros técnicos, sendo alguns específicos do modelo de impressora 3D que será utilizada.

No aplicativo de fatiamento, o usuário pode especificar parâmetros ajustáveis que irão refletir na qualidade e nas características físicas da peça a ser impressa, como a escala do modelo, a orientação do objeto na mesa de impressão, a resolução da impressão (altura da camada), o nível de preenchimento das estruturas internas das peças, as estruturas de suporte temporárias para sustentação de partes do modelo e demais características que são específicas do modelo de impressora 3D em uso.

A etapa seguinte do fluxo de trabalho para impressão 3D consiste em iniciar a impressão do objeto. Antes de iniciar a impressão, o usuário deverá efetuar o procedimento de carregamento do filamento a ser utilizado na impressora 3D. Em seguida, é necessário aplicar um adesivo na mesa de impressão (na forma líquida ou em spray), para que o objeto a ser impresso permaneça fixo durante o processo de impressão. O arquivo no formato GCode deve estar previamente salvo em um cartão SD, que deve ser inserido no slot presente na impressora 3D. A partir dos controles no painel da impressora 3D, o usuário deve selecionar o arquivo salvo no cartão SD que contém o arquivo da peça a ser impressa e, em seguida, iniciar a impressão. Esta etapa pode demorar desde algumas dezenas de minutos até dias, dependendo do tamanho e da complexidade da peça a ser impressa.

Após a conclusão da impressão e a peça ter esfriado até próximo da temperatura ambiente, ela deverá ser removida da mesa de impressão e, caso necessário, submetida a um processo de tratamento pós-impressão.

O pós-tratamento pode incluir: (a) lixação da superfície, no caso de se desejar que ela fique mais lisa, (b) remoção de estruturas de suporte que o aplicativo fatiador pode incluir para viabilizar a impressão de alguns segmentos da peça, e (c) pintura das peças.

3.3 Impressão 3D na prática

Os autores deste caderno didático produziram um conjunto de quatro vídeos introdutórios sobre o uso de impressoras 3D FFF, com os endereços e QRCodes para acesso apresentados na Tabela 1. Estes vídeos demonstram o procedimento básico de operação da impressora 3D, o aplicativo fatiador e também algumas dicas práticas de manutenção da impressora 3D.

Para os usuários que não estão familiarizados com a impressão 3D, recomenda-se iniciar testando a impressão de peças de pequenas dimensões que podem ser baixadas do repositório Thingiverse. Somente com a prática da manipulação da impressora 3D e do aplicativo fatiador, o usuário adquirirá proficiência na impressão 3D, em especial com relação aos possíveis problemas que podem afetar a qualidade da impressão ou produzir falhas de impressão.

Sugerimos a seguinte lista de procedimentos básicos para impressão 3D com impressoras que usam fabricação com filamento fundido:

1. Preparação Inicial

- Verificar o equipamento, certificando-se de que a impressora 3D está em boas condições, limpa e com todos os componentes funcionando corretamente;
- Escolher o material de impressão. Selecione o filamento apropriado (PLA, ABS, PETG ou outro) conforme a necessidade do seu projeto e tipo de impressora a ser usada. Para impressoras de gabinete aberto, recomenda-se usar PLA; e para impressoras de gabinete fechado, pode ser usado PLA, ABS, PETG ou outro;
- Carregar o filamento. Carregue o filamento na impressora seguindo as instruções específicas do modelo. Nos modelos de impressora mais simples, usualmente o carregamento do filamento é feito manualmente, enquanto em outros modelos este carregamento é automático e comandado através do painel frontal.

2. Obtenção do Modelo 3D

- Obter o modelo 3D da peça usando um aplicativo de modelagem 3D para criar seu projeto, ou baixe um modelo de uma biblioteca online como a Thingiverse.

3. Preparação do Arquivo para Impressão

- Obtenção do aplicativo fatiador. O aplicativo fatiador que recomendamos é o Ultimaker Cura, que pode ser baixado sem custo a partir do endereço <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>, ou a partir do QR Code apresentado na Figura 6. Podem ser utilizados outros aplicativos fatiadores, e o modo de operar é similar em todos eles;
- Abrir o arquivo do modelo 3D (geralmente com extensão .stl) no aplicativo fatiador para importar o modelo. Nesta etapa, o aplicativo fatiador deverá apresentar uma visão 3D da peça sobre a mesa de impressão simulada;
- Ajustar as configurações de impressão básica no aplicativo fatiador:
 - Definir o perfil de configuração para o modelo específico de impressora que você está usando. Para a maioria dos modelos de impressora, o próprio aplicativo fatiador já vem com os perfis, e basta selecionar o que corresponde à sua impressora. Caso o aplicativo fatiador não tenha o perfil para a sua impressora, é necessário baixar o arquivo do perfil no site do fabricante da sua impressora e importá-lo no aplicativo fatiador;
 - Altura da camada: defina a altura da camada (geralmente de 0,1 mm a 0,3 mm). A altura da camada define a resolução da impressão. Quanto menor a altura da camada, melhor será a qualidade da impressão, mas também implicará em uma impressão mais demorada;
 - Densidade de preenchimento (infill): configure a densidade do preenchimento interno (geralmente entre 10% e 30%). Uma maior densidade de preenchimento resulta em melhor resistência mecânica da peça, mas aumenta o tempo de impressão e o consumo de filamento;

- Ajuste da velocidade de impressão, temperatura do bico de impressão e da mesa de impressão: recomenda-se selecionar o tipo de filamento usado no perfil da impressora para que esses parâmetros sejam ajustados adequadamente. Opcionalmente, esses parâmetros podem ser alterados manualmente para ajustes finos na qualidade da impressão;
- Definir a orientação da peça: suportes são estruturas temporárias que sustentam partes do modelo durante a impressão para evitar colapsos ou deformações. A necessidade de suportes depende do projeto do modelo e de sua orientação na plataforma de impressão. O aplicativo fatiador permite escolher a orientação da peça na mesa de impressão, e o usuário deverá experimentar diferentes orientações para minimizar a quantidade e complexidade dos suportes. Na seção a seguir, serão sugeridas orientações recomendadas para impressão das diferentes peças que compõem o kit de modelo molecular.
- Gerar o arquivo G-code: execute o comando no aplicativo fatiador para gerar o arquivo G-code. Após a geração, o aplicativo deverá apresentar uma simulação da peça impressa, incluindo os possíveis suportes. Se necessário, pode-se modificar a orientação da peça e outros parâmetros e gerar um novo arquivo G-code. Após ajustados os parâmetros de impressão, salve o arquivo no formato G-code em um cartão de memória do tipo SD, que será a fonte de dados a serem interpretados pela impressora.



Figura 6 QR Code para download do aplicativo fatiador Ultimate Cura

4. Preparação da Impressora

Nivelar a mesa de impressão para garantir uma boa adesão da primeira camada. O procedimento de nivelamento da mesa deve ser feito de acordo com o manual da impressora, sendo que, em algumas impressoras, o nivelamento é feito manualmente e, em outras, é feito automaticamente antes de cada impressão;

Aplicar um adesivo específico para impressão 3D na mesa de impressão para manter a peça fixa durante a impressão. Usualmente, utilizam-se adesivos líquidos, que devem ser espalhados pela mesa de impressão, ou adesivos em spray.

5. Início da Impressão

Carregue o arquivo G-code na impressora (via cartão SD) e comande o início da impressão através do painel frontal;

Ao iniciar a impressão, monitorar a primeira camada, observando-a para garantir que o filamento está aderindo bem à mesa de impressão. Se a primeira camada impressa estiver defeituosa, é recomendado abortar a impressão e efetuar um ajuste da altura do bico de impressão usando o painel frontal da impressora.

6. Durante a Impressão

Supervisionar o processo, monitorando a impressão periodicamente para detectar qualquer problema, como deslocamento de camadas, entupimento do bico, soltura da peça da mesa de impressão ou interrupção do suprimento de filamento;

Verificar o nível do filamento, certificando-se de que há filamento suficiente para concluir a impressão.

7. Finalização da Impressão

Após a conclusão da impressão, deixe a peça esfriar e retire-a da mesa de impressão com cuidado;

Limpar a impressora, removendo qualquer resíduo de filamento do bico e da mesa de impressão para evitar problemas nas impressões futuras. Em caso de dificuldade no fluxo de filamento pelo bico de impressão, pode ser necessária a sua remoção e limpeza.

8. Pós-processamento

Se o modelo tiver suportes, remova-os com cuidado utilizando um alicate pequeno de corte rente;

Lixe quaisquer áreas ásperas e faça o acabamento necessário, como pintura, colagem, etc.

9. Manutenção da Impressora

Limpe a impressora regularmente para evitar acúmulo de resíduos;

Verificar e ajustar componentes, inspecionando regularmente o bico, a mesa e outros componentes, ajustando e substituindo conforme necessário.

Apresentação: Visão geral sobre impressão 3D FFF



Apresentação: Visão geral sobre impressão 3D FFF



Aplicativos: Aplicativos necessários para impressão 3D



Operação Básica: Procedimentos de operação de uma impressora 3D



Manutenção: Dicas para manutenção da impressora 3D e resolução de problemas comuns

Aplicativos: Aplicativos necessários para impressão 3D



Operação Básica: Procedimentos de operação de uma impressora 3D



Manutenção: Dicas para manutenção da impressora 3D e resolução de problemas comuns



4. Modelo molecular montável

4.1 Características do Kit de modelo molecular

O kit de modelo molecular apresenta o conjunto de características elencadas abaixo, que consideramos como desejáveis para compor atividades didáticas de química:

- a. A impressão do kit de modelo molecular produz peças funcionais e duráveis, permitindo o encaixe e desencaixe para montagem das moléculas. A fabricação das peças é possível em impressoras 3D de baixo custo que utilizam a tecnologia de fabricação por filamento fundido, e filamentos de PLA e ABS. As peças podem ser impressas com o mínimo de estruturas de suporte, minimizando o trabalho de pós-tratamento e agilizando sua utilização em aplicações educacionais;
- b. As peças permitem a personalização de escala para fabricação de modelos maiores, adequados para apresentações em salas de aula, e tamanhos menores, para economia de tempo de impressão e filamento;
- c. O kit é montável, contendo peças esféricas referentes aos átomos e bastões cilíndricos para representar as ligações químicas. As ligações simples permitem a rotação livre em torno de seu eixo, e as ligações duplas não permitem a rotação em torno de seu eixo;
- d. As esferas que representam diferentes átomos têm raios proporcionais aos raios atômicos dos átomos. Os encaixes das ligações nos átomos são projetados de modo que os ângulos de ligação fiquem de acordo com os valores para geometrias correspondentes às hibridizações sp^3 ($109,5^\circ$) e sp^2 ($120,0^\circ$).

4.2 Arquivos digitais das peças do Kit de modelo molecular

Neste caderno didático, utilizaremos modelos 3D de peças para montagem de modelos moleculares que foram desenvolvidos pelos autores desta publicação, e que podem ser obtidos a partir do endereço <https://www.thingiverse.com/thing:6117212> ou através do QR Code representado na Figura 7. Os detalhes de como efetuar a impressão e uso das peças para montagem de modelos moleculares serão detalhados a seguir. Os arquivos estão sujeitos à licença Creative Commons Atribuição Não Comercial (CC BY-NC), o que permite o uso educacional com as restrições de exigir que os créditos aos autores sejam citados e não permitir o seu uso comercial.



Figura 7 QR Code para download dos arquivos dos modelos 3D

Inicialmente, o usuário deverá baixar o conjunto de arquivos contendo os modelos 3D das peças do kit de modelo molecular através do link da Figura 6. A página do projeto no Thingiverse é similar à indicada na Figura 8. Clique em Download all files para baixar todos os arquivos, que serão compactados e empacotados no formato RAR.

Para extrair os arquivos dos modelos 3D das peças do arquivo no formato RAR, recomenda-se o aplicativo 7-Zip, que pode ser baixado no endereço:

<https://www.7-zip.org/download.html>. No aplicativo 7-Zip, selecione o arquivo baixado e clique em Extrair. Em seguida, selecione a pasta na qual os arquivos serão salvos.

Depois, escolha o arquivo desejado (com extensão .stl), como, por exemplo, “carbono.stl”, e abra-o usando o aplicativo de fatiamento Ultimaker Cura.

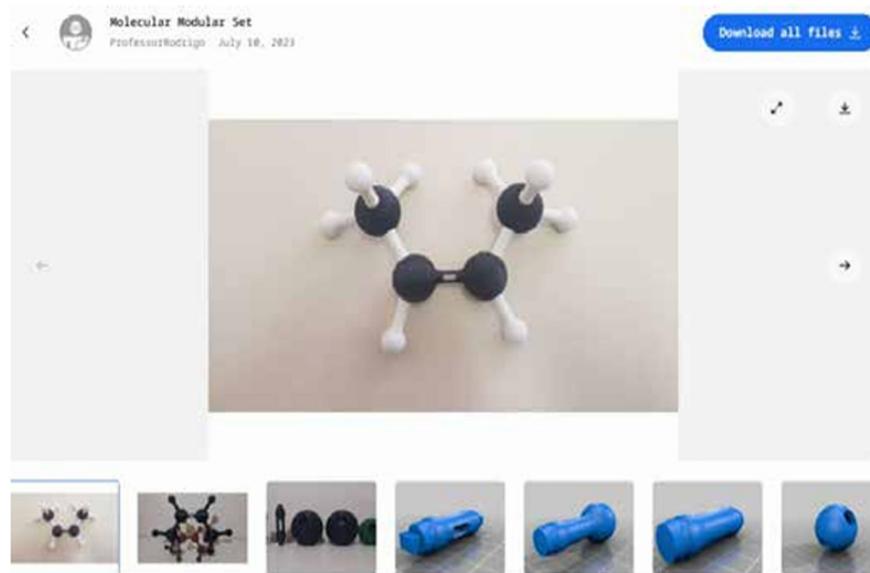


Figura 8 Aparência da página para baixar os arquivos dos modelos 3D das peças do kit de modelo molecular.

Você deverá encontrar um total de 7 arquivos, sendo um para cada uma das peças que compõem o kit de modelo molecular. A Tabela 2 mostra a lista de peças com o respectivo nome do arquivo.

Tabela 2 Descrição dos arquivos dos modelos 3D das peças para compor o Kit de modelo molecular

Arquivo	Descrição
Carbono.STL	Átomo de carbono sp3
Carbono Sp2.STL	Átomo de carbono sp2
Hidrogênio.STL	Átomo de hidrogênio anexado a uma ligação
Ligacaodupla.STL	Ligação dupla
Ligacaosimples.STL	Ligação simples
Nitrogenio.STL	Átomo de nitrogênio
Oxigênio.STL	Átomo de oxigênio



Figura 9 Conjunto de peças para o Kit de modelo molecular

A Figura 9 mostra as 7 peças modulares do kit de modelo molecular, na forma de modelo 3D e impressas com filamento de ABS. Estas peças podem ser impressas de acordo com a necessidade de cada professor, mas, em geral, recomenda-se que sejam impressas, para cada grupo de alunos, ao menos 6 carbonos sp^3 , 3 carbonos sp^2 , 2 oxigênios, 2 nitrogênios, 8 ligações simples, 2 ligações duplas e 12 átomos de hidrogênio com ligação simples. Este conjunto permite ao aluno montar moléculas orgânicas pequenas para o estudo de estrutura molecular e isomeria.

A montagem das moléculas consiste em simplesmente encaixar as diferentes peças de acordo com a estrutura química desejada. Em geral, o aluno deverá transpor a nomenclatura química na forma de fórmulas estruturais bidimensionais no papel ou na tela do computador para a estrutura tridimensional, na forma do modelo molecular físico.

Observe, na Figura 9, que a peça para o átomo de hidrogênio já vem acompanhada da ligação simples, facilitando a montagem de moléculas orgânicas. Observe também que existem dois tipos de peças para ligação química: uma peça para ligações simples e uma peça para ligações duplas. Note que a peça para a ligação dupla se diferencia pela presença de um corte no seu centro. A peça para ligação dupla tem um encaixe específico para as peças de átomos de carbono sp^2 que não permite a rotação livre em torno de seu eixo, permitindo representar adequadamente isômeros.

4.3 Dicas para impressão das peças do kit de modelo molecular

Na fase de fatiamento do modelo 3D, é recomendado ajustar os parâmetros de acordo com a Tabela 3. Estes parâmetros são sugestões que permitem a impressão das peças com um bom compromisso entre tempo de impressão, qualidade de acabamento e resistência mecânica.

É possível alterar os parâmetros para personalizar a impressão. Por exemplo, ao reduzir a altura da camada, a resolução da impressão aumenta, os detalhes da peça ficam mais precisos e o acabamento superficial melhora; entretanto, o tempo de impressão será maior. O percentual de preenchimento interno da peça pode ser elevado para 50%, caso se deseje mais resistência mecânica, mas isso implicará em maior consumo de filamento e aumento no tempo de impressão.

Tabela 3 Parâmetros recomendados para impressão das peças do Kit de modelo molecular

Parâmetro	Valor recomendado
Altura da camada	0.25 mm
Preenchimento	35%
Suportes	Habilitar a geração automática
Tipo de filamento	PLA ou ABS
Temperatura do bico	PLA: 190°C a 220°C, ABS: 230°C a 260°C

Antes de efetuar o fatiamento, é possível configurar a orientação das peças a serem impressas na mesa de impressão. A escolha da orientação otimizada permite minimizar problemas de impressão, bem como a quantidade e a complexidade de suportes.

Para o caso das peças referentes às ligações simples, ligações duplas e para a peça referente ao átomo de hidrogênio com a ligação simples, recomenda-se a impressão das peças em pé, de acordo com as imagens da Figura 10 (obtidas a partir do aplicativo Ultimaker Cura).

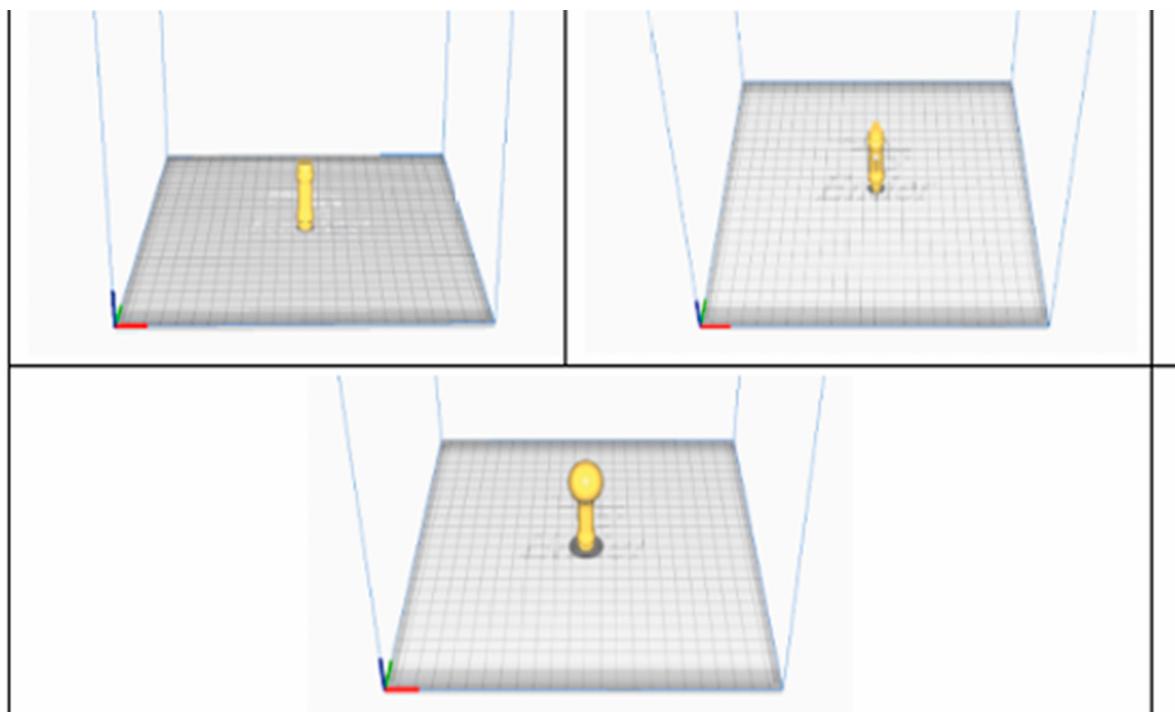


Figura 10 Orientações recomendadas para impressão de peças das ligações simples, duplas e átomos de hidrogênio com ligação simples

Nessas orientações, essas peças não necessitam de suportes. Para os casos das peças referentes aos átomos de carbono sp^3 , carbono sp^2 , nitrogênio e oxigênio, recomenda-se posicionar as peças com um dos encaixes voltado para a mesa de impressão, conforme ilustrado na Figura 11, que mostra o caso do posicionamento das peças dos átomos de carbono sp^3 .

Nesses casos, o aplicativo fatiador deverá gerar uma pequena quantidade de suporte, que é relativamente simples de remover após a impressão, utilizando um alicate pequeno de corte rente.

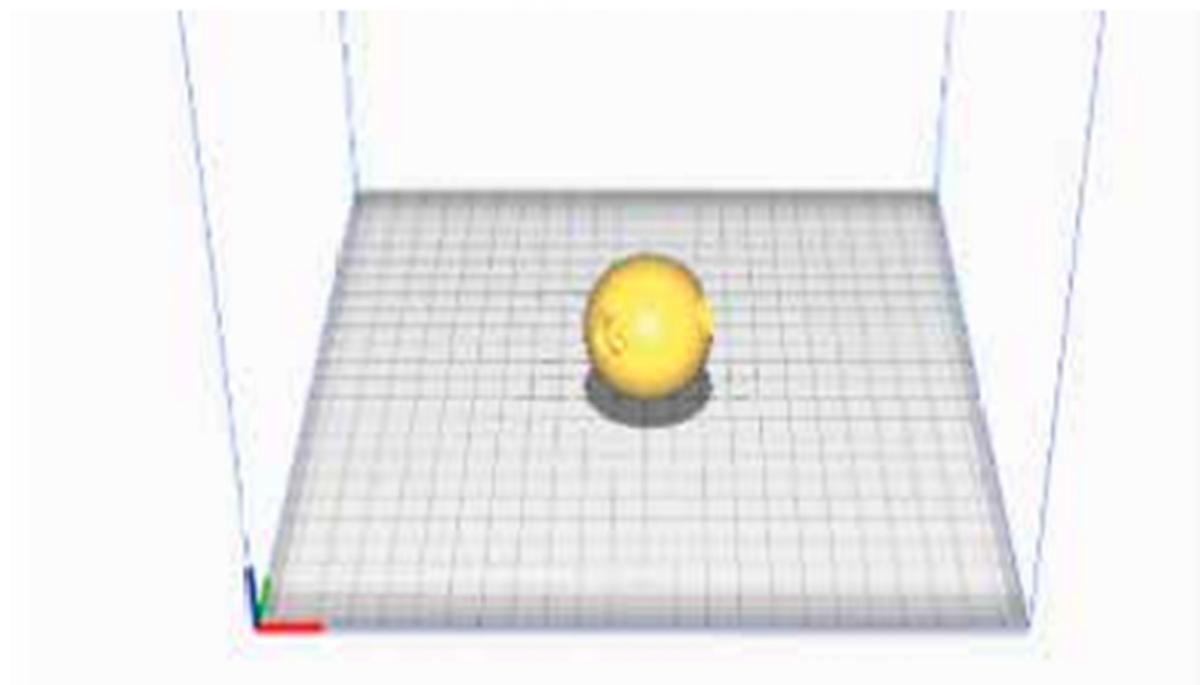


Figura 11 Orientação recomendada para impressão da peça para o átomo de carbono sp^3 . A mesma orientação é sugerida para as peças dos átomos de nitrogênio, oxigênio e de carbono sp^2

Como forma de otimizar o tempo de impressão, é possível posicionar mais de uma peça na mesa da impressora para que sejam impressas simultaneamente, como ilustrado na Figura 12. Deve-se atentar que, nessa configuração, torna-se mais provável a ocorrência de falhas na impressão, como o deslocamento de uma das peças na mesa de impressão, o que pode resultar na perda da impressão de todas as demais.

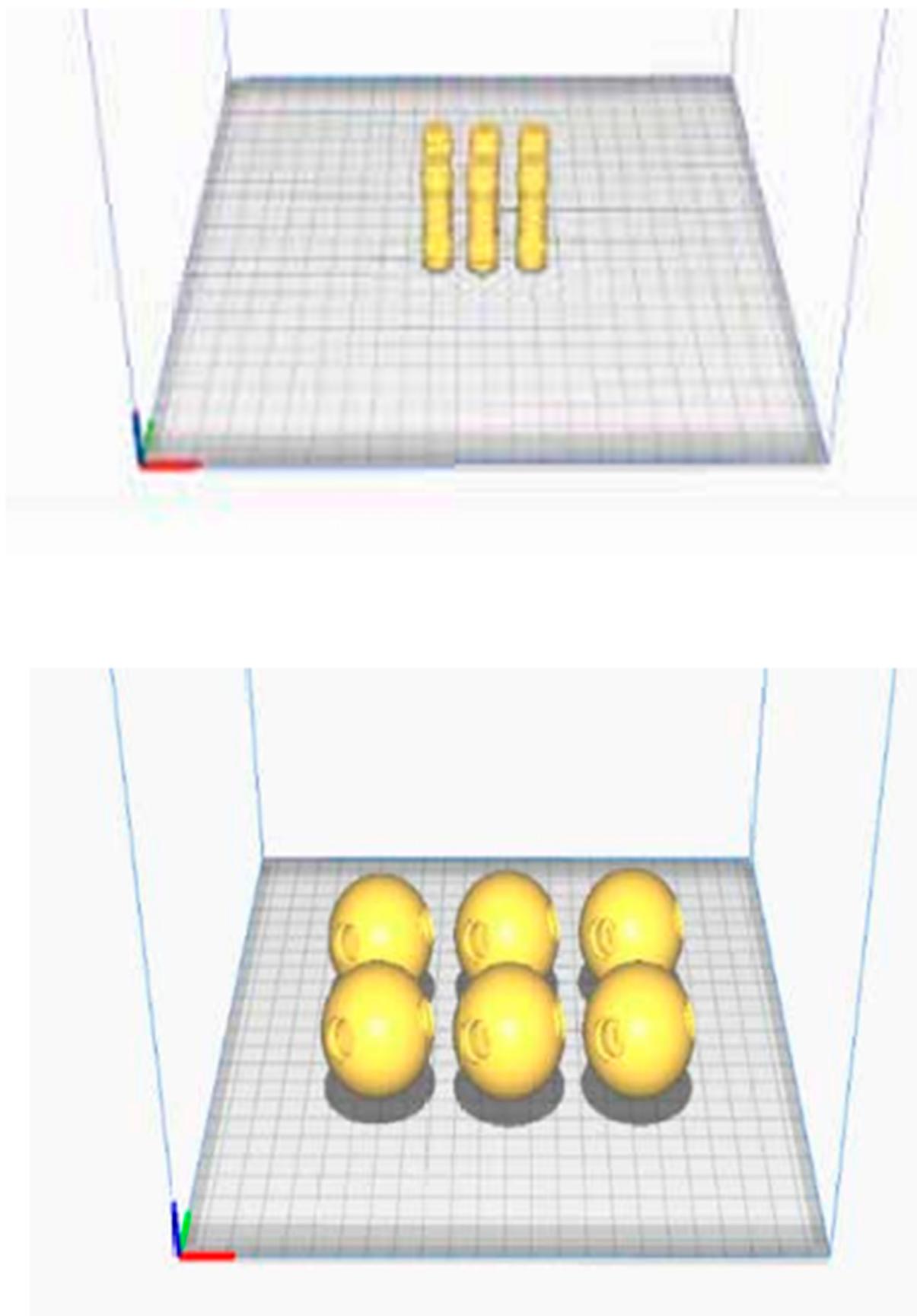


Figura 12 Posicionamento de múltiplas peças para impressão simultânea

4.4 Utilização do Kit de modelo molecular

A Figura 13 mostra uma aplicação em que os isômeros cis-2-buteno e trans-2-buteno foram montados usando uma peça para a ligação dupla, na qual foram encaixados dois átomos de carbono sp^2 , e, em cada um destes, foi encaixada a peça para um átomo de carbono sp^3 . Os átomos de hidrogênio foram adicionados encaixando 8 peças que representam o átomo de hidrogênio juntamente com uma ligação simples.

Observe que, neste caso, a peça que representa o átomo de hidrogênio com a ligação simples recebeu um acabamento de pintura após sua impressão, de modo que a parte da peça que representa a ligação simples foi pintada de preto.

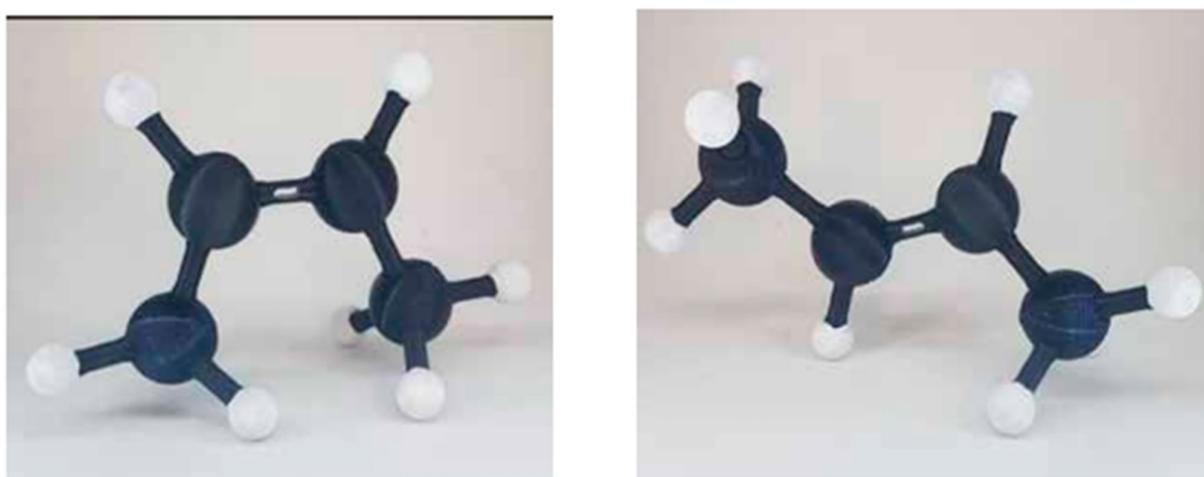


Figura 13 Modelos moleculares para o cis-2-buteno (esquerda) e trans-2-buteno (direita)

Na Figura 14, são representados dois isômeros conformacionais da molécula de etanol, que diferem entre si na orientação relativa dos grupos $-\text{CH}_2$ e $-\text{CH}_2\text{OH}$. Como os encaixes entre os dois átomos de carbono sp^3 , representados em preto, permitem a rotação livre, é possível girar livremente os grupos ligados a esses dois carbonos, representando diferentes isômeros conformacionais.

Para a montagem desses modelos, as peças foram impressas em ABS de cores diferentes, sendo o carbono sp^3 em preto, o átomo de oxigênio em vermelho, os átomos de hidrogênio em branco e as ligações simples também em branco. Observe que os átomos de hidrogênio apresentam um raio menor que o raio do átomo de oxigênio, e este, por sua vez, apresenta um raio menor que o dos átomos de carbono, conforme é esperado para a ordem dos raios atômicos desses elementos.

O modelo permite também demonstrar os diferentes isômeros conformacionais do ciclo-hexano, que são o ciclo-hexano na conformação cadeira (Figura 15 à esquerda) e o ciclo-hexano na conformação barco (Figura 15 à direita). Para a montagem desses modelos, foram usadas peças para átomos de carbono sp^3 e átomos de hidrogênio com ligações simples. O modelo não precisa ser desmontado para a conversão de uma conformação para outra, sendo necessário apenas alguns movimentos para a mudança de conformação.

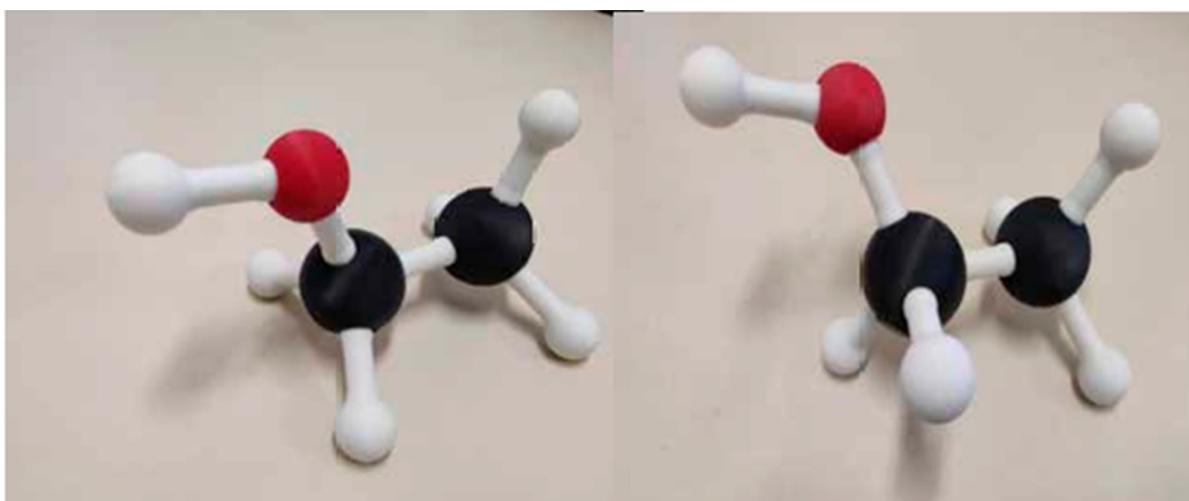


Figura 14 Modelos moleculares para o etanol em duas conformações, obtidas através da rotação da ligação C–C.

Neste caso, a montagem e manipulação do modelo permitem que o aluno compreenda a diferença das conformações de uma maneira muito mais eficiente do que com o uso de representações gráficas bidimensionais. Modelos físicos têm se mostrado eficazes no ensino de conceitos complexos, como isomeria, permitindo uma visualização clara das diferenças estruturais que são difíceis de serem percebidas em representações bidimensionais (Bhushan & Wyeth, 2010).

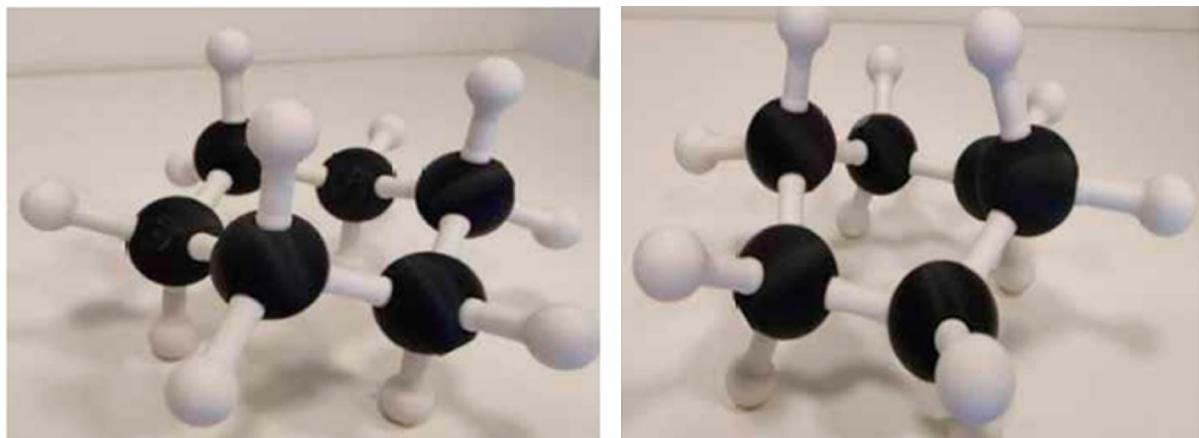


Figura 15 Modelos moleculares para os isômeros conformativos do ciclo-hexano. À esquerda a forma cadeira, e à direita a forma barco.

O kit de modelo molecular apresentado neste caderno didático apresenta algumas vantagens importantes em relação aos kits de modelo molecular disponíveis comercialmente. Os kits disponíveis como produtos prontos apresentam, geralmente, custo elevado de aquisição, o que se deve possivelmente à sua pequena escala de fabricação e comércio.

Por outro lado, o kit de modelo molecular apresentado neste caderno foi projetado para ser facilmente fabricado utilizando impressoras 3D simples e suprimentos de baixo custo. Outra vantagem é que as peças podem ser produzidas por impressão 3D, o que permite a reposição de peças extraviadas ou danificadas com facilidade. Nos kits comerciais, em geral, não é possível a reposição de peças, sendo necessária a compra de um kit adicional.

O kit descrito neste caderno apresenta ainda aspectos inovadores que não estão presentes na maioria dos kits moleculares descritos em trabalhos anteriores ou em produtos comerciais, e que são importantes para o ensino de isomeria. Dentre essas inovações, destacam-se as ligações duplas, que foram projetadas de modo a não permitir a rotação em torno de seu eixo, ao contrário das ligações simples.

Destacamos outra possibilidade interessante, viabilizada pela impressão 3D das peças, que é a personalização de escala. Os kits comerciais são vendidos com peças em um tamanho fixo. Já com a impressão 3D, é possível aumentar ou reduzir a escala das peças, adaptando o tamanho conforme a necessidade.



Figura 16 Modelo molecular para o cis-2-buteno na escala de 50% (marrom) e 100% (preto)

Além das limitações conceituais dos modelos moleculares que já foram discutidas, deve-se citar também algumas limitações técnicas do kit de modelo molecular impresso em 3D. Uma das limitações é que modelos de moléculas com mais de 10 átomos de carbono tendem a romper os encaixes das ligações com as peças dos átomos, devido ao peso dessas peças. Se for necessário montar modelos de moléculas maiores, recomenda-se fazer a impressão das peças na metade da escala, pois, nesse caso, o peso das peças é reduzido.

Outra limitação à qual o professor deverá estar atento é que o tempo de vida dos encaixes das peças é limitado, e dependerá do tipo de filamento usado, da qualidade de impressão, do cuidado na manipulação e do número de ciclos de encaixes e desencaixes. Segundo os nossos testes, normalmente o tempo de vida dos encaixes é suficiente para realizar ao menos 10 atividades em que os alunos manipulam e montam os modelos moleculares. O sinal de desgaste acentuado dos encaixes se manifesta quando as peças dos átomos tendem a se soltar facilmente das peças das ligações.

Se o professor julgar conveniente, é possível elevar a taxa de preenchimento na configuração do aplicativo fatiador para conferir mais durabilidade aos encaixes.

5. Propostas de Atividades Didáticas Utilizando o Kit de Modelo Molecular Impresso em 3D

5.1 Introdução

Propomos a seguir quatro atividades que exploram o kit de modelo molecular no ensino de química.

Atividade:

Familiarização com o uso do kit de modelos moleculares e montagem de pequenas moléculas

Tópico: A

Objetivos de aprendizagem:

Compreender como montar modelos moleculares de moléculas simples utilizando o kit de modelos moleculares impressos em 3D.

Atividade:

Estrutura molecular

Tópico: B

Objetivos de aprendizagem:

Compreender a geometria molecular e a flexibilidade das ligações químicas em moléculas, utilizando modelos moleculares.

Atividade:

Isomeria geométrica

Tópico: C

Objetivos de aprendizagem:

Construir modelos moleculares de moléculas que apresentam isomeria cis/trans e relacionar as estruturas tridimensionais de cada isômero com suas respectivas representações bidimensionais. Identificar a impossibilidade de rotação livre da ligação dupla.

Tópico: D

Objetivo de aprendizagem:

Construir modelos de isômeros óticos e relacionar as estruturas tridimensionais de cada isômero com suas respectivas representações bidimensionais.

As atividades são sugestões que o professor poderá adaptar ou modificar de acordo com sua realidade educacional. É também possível que o professor use livremente sua criatividade para elaborar outras atividades de seu interesse utilizando o kit de modelos moleculares.

As atividades propostas procuram desafiar os alunos a construírem modelos moleculares de diferentes estruturas e a explorarem os conceitos químicos tratados. Sugere-se que a dinâmica das atividades siga a seguinte sequência:

- A. Introdução ao guia de atividades, que pode incluir pequenas demonstrações e exposição dialogada. Nesta etapa, o professor deverá deixar claros os objetivos da atividade e quais recursos serão utilizados. Recomenda-se que o professor retome os principais conceitos químicos que são fundamentais para o desenvolvimento da atividade;
- B. Execução das atividades pelos alunos de forma ativa, com o professor atuando como mediador e orientando os alunos sempre que solicitado, mas permitindo que eles desenvolvam as atividades propostas por si próprios. Uma sugestão é que os alunos registrem a execução das atividades fazendo anotações no guia de atividades, em fotos ou vídeos. Nesta etapa, os alunos deverão responder aos questionamentos contidos no guia de atividades;
- C. Ao final da atividade, o professor deverá reunir os alunos e discutir, em grande grupo, as conclusões de cada um a respeito das atividades, esclarecendo, em especial, o conhecimento químico que foi explorado. Nesta etapa, é recomendado que o professor questione os alunos sobre as limitações do modelo que montaram e discuta o que o modelo pretende representar e o que ele não foi desenvolvido para representar;
- D. No encerramento das atividades, os alunos são incentivados a apresentar suas dificuldades e sugestões para melhoria no procedimento didático.

Os recursos necessários incluem um conjunto de peças impressas em impressora 3D, representando os átomos e as ligações, em quantidade suficiente para as atividades, além de algumas peças de reserva para o caso de alguma ser danificada ou perdida. Cada atividade proposta pode ser aplicada em cerca de 1 hora/aula.

Para a avaliação das atividades, sugere-se utilizar as respostas ao questionário do guia de atividades e a observação da participação dos alunos nas tarefas propostas. Apresentamos, para cada atividade, uma lista de padrões de resposta para as questões presentes nos guias de atividades. O professor poderá utilizar esses padrões de resposta para auxiliar seu processo de avaliação dos alunos.

Os guias de atividades e os respectivos padrões de resposta para cada uma das atividades sugeridas, listadas na página 38, encontram-se nos Apêndices A, B, C e D.

6. Considerações Finais

O uso de modelos moleculares físicos montáveis, impressos em 3D, representa um aspecto inovador no ensino de química, oferecendo uma abordagem tangível para a compreensão de conceitos muitas vezes abstratos e desafiadores. Este caderno didático buscou não apenas introduzir essa ferramenta, mas também fornecer orientações práticas para sua implementação em sala de aula.

Através das atividades propostas, esperamos que os professores possam incentivar seus alunos a explorar a química de forma mais interativa e envolvente. A capacidade de manipular modelos tridimensionais permite uma melhor visualização das estruturas moleculares e das interações que ocorrem entre os átomos, facilitando a compreensão de tópicos como geometria molecular, isomeria e hibridização.

Entretanto, é importante reconhecer as limitações dos modelos moleculares físicos. Como discutido ao longo deste caderno, eles simplificam certos aspectos da realidade molecular, não capturando completamente a dinâmica e as complexidades das interações químicas. Esses modelos devem ser utilizados como uma ferramenta complementar, em conjunto com outras representações e abordagens didáticas, para proporcionar uma visão mais holística e precisa da química.

Encerramos este caderno com a expectativa de que ele inspire e capacite os professores a integrar novas tecnologias em suas práticas pedagógicas, transformando o ensino de química em uma experiência mais rica e acessível. Que esta iniciativa contribua para o desenvolvimento de uma geração de estudantes mais curiosos, criativos e proficientes em ciências, capazes de enfrentar os desafios do futuro com conhecimento e confiança.

Agradecemos a dedicação e o empenho de todos os professores que se comprometem com a missão de educar, e esperamos que este material seja uma ferramenta valiosa em suas jornadas pedagógicas.

Referências Bibliográficas

BACHELARD, Gaston. O novo espírito científico. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

BHUSHAN, N.; WYETH, P. The role of physical models in teaching chemical concepts: a case study. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 11, n. 3, p. 207–213, 2010.

CASS, M. E.; RZEPKA, H. S. The use of molecular models in the teaching of chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 82, n. 11, p. 1671–1680, 2005.

DE JONG, T.; VAN JOOLINGEN, W. R. Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, v. 68, n. 2, p. 179–201, 1998.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. Developing models in science education. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 7, n. 2, p. 75–83, 1991.

TREAGUST, D. F.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T. L. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, v. 25, n. 11, p. 1353–1368, 2003.

Caderno 1: Aprender Ciências no Ensino Fundamental na Perspectiva da Teoria da Complexidade: In(ter)venções em uma Viagem pelo Período Paleolítico.

Caderno 2: Aprender Ciências pela Imaginação.

Caderno 3: Aprendizagens Não Lineares: uma Proposta de Hipertextualização em Ciências no Ensino Fundamental.

Caderno 4: Dispositivo Cadáver: uma Aventura pelo Corpo Humano.

Caderno 5: Dispositivos Complexos de Aprendizagem no Ensino de Ciências: o Imaginário Mundo da Microbiologia.

Caderno 6: Invenção de Mundos: Pistas para Práticas Inclusivas na Escola.

Caderno 7: Invenção de Mundos como Dispositivo Complexo de Aprendizagem: Pistas para a Produção da Inventividade em Sala de Aula.

Caderno 8: Dispositivos Complexos de Aprendizagem em Ciências: a Experiência da Construção de um “Laboratório Secreto”.

Caderno 9: Atividade Experimental Problematizada (AEP).

Caderno 10: Educação Geológica: um Desafio para as Gerações Futuras.

Caderno 11: Energia e Eletricidade para Professores de Ciências.

Caderno 12: Explorando a Química com Modelos Moleculares 3D: um Guia Didático para Professores.

Caderno 13: Lapbook como Estratégia Didática para o Ensino de Concepções sobre Estrutura Atômica e Periodicidade Química.

Caderno 14: Robótica Educacional para Despertar o Engenheiro nos Jovens.

Caderno 15: Tecnologias para a Inclusão e a Acessibilidade.

Caderno 16: Elementos Químicos em 1 Minuto – Uma Tabela Periódica Sonora.



Coleção Especial

Produtos Educacionais para Inovação Tecnológica e Metodológica

Este caderno pedagógico faz parte da coleção Produtos Educacionais para Inovação Tecnológica e Metodológica no Ensino de Ciências. A disseminação desses produtos, incluindo a produção desses cadernos pedagógicos, recebeu apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, por meio do Programa Inova EaD (Edital 15/2023). A coleção é composta por 16 e-books produzidos por pesquisadores da Rede de Saberes Articulando Ciência, Criatividade e Imaginação – Rede SACCI.

