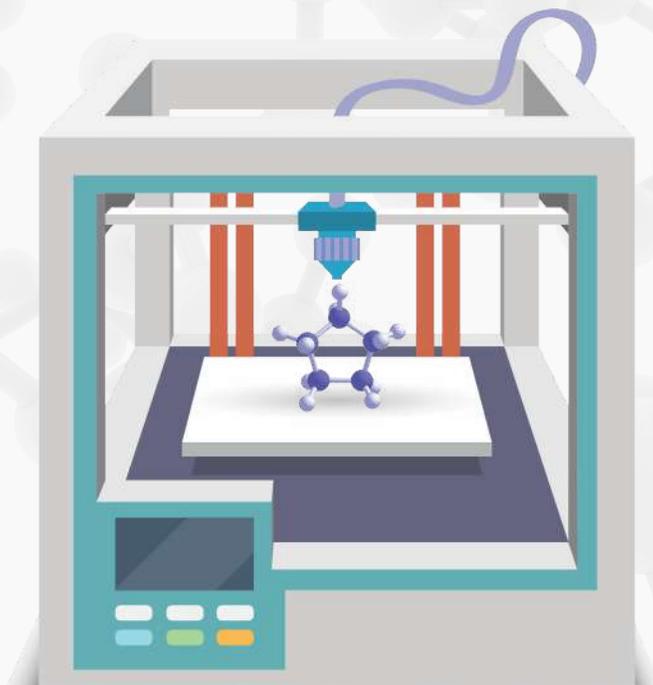


Adriana Maria Queiroz da Silva Lima
Leticia Raquel Amaro dos Santos
Luiz Gabriel Araújo da Fonseca
Ronilson Freitas de Souza



INOVAÇÃO NA EDUCAÇÃO

APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NA QUÍMICA ORGÂNICA


UEPA
EDITORA DA UEPA



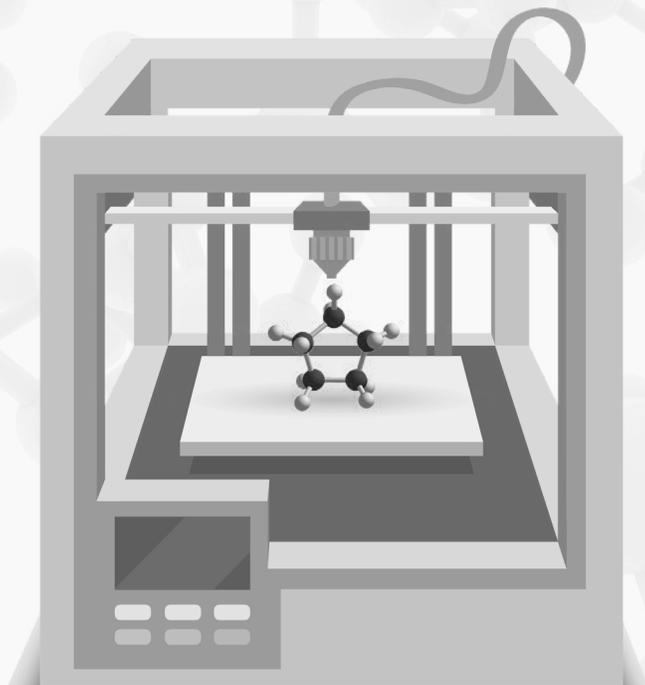
Reitor Clay Anderson Nunes Chagas
Vice-Reitora Ilma Pastana Ferreira
Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação Jofre Jacob da Silva Freitas
Pró-Reitor de Graduação Ednalvo Apóstolo Campos
Pró-Reitora de Extensão Vera Regina Menezes Palácios
Pró-Reitor de Gestão e Planejamento Carlos José Capela Bispo



Editora da Universidade do Estado do Pará

Coordenador e Editor-Chefe	Conselho Editorial
Nilson Bezerra Neto	Jofre Jacob da Silva Freitas (Presidente)
Revisão	Francisca Regina Oliveira Carneiro
Marco Antônio da Costa Camelo	Hebe Morganne Campos Ribeiro
Design	Joelma Cristina Parente Monteiro Alencar
Flávio Araujo	Josebel Akel Fares
Web-Page e Portal de Periódicos	José Alberto Silva de Sá
Bruna Toscano Gibson	Juarez Antônio Simões Quaresma
Livraria	Lia Braga Vieira
Arlene Sales	Maria das Graças da Silva
Bibliotecária	Maria do Perpétuo Socorro Cardoso da Silva
Rosilene Rocha	Marília Brasil Xavier
Estagiário	Núbia Suely Silva Santos
João Lucas Ferreira Lima	Robson José de Souza Domingues
Natália Vinagre de Souza Souza	Pedro Franco de Sá
	Tânia Regina Lobato dos Santos
	Valéria Marques Ferreira Normando

Adriana Maria Queiroz da Silva Lima
Leticia Raquel Amaro dos Santos
Luiz Gabriel Araújo da Fonseca
Ronilson Freitas de Souza



INOVAÇÃO NA EDUCAÇÃO

APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NA QUÍMICA ORGÂNICA


UEPA
EDITORA DA UEPA

Realização

Universidade do Estado do Pará - UEPA
Programa de Pós-graduação em Educação e Ensino de Ciências da Amazônia
Editora da Universidade do Estado do Pará-Eduepa

Normalização e Revisão

Gustavo Suertegaray Saldivar
Marco Antônio da Costa Camelo

Capa

José Diogo Evangelista Reis

Foto de capa

José Diogo Evangelista Reis

Design

Flávio Araujo

Diagramação

Odivaldo Teixeira Lopes

Estagiária

João Lucas Ferreira Lima
Natália Vinagre de Souza Souza

Apoio Técnico

Arlene Sales Duarte Caldeira
Bruna Toscano Gibson

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) EDITORA DA UEPA - EDUEPA

158 Inovação na educação: aplicação da impressão 3D na química orgânica / Adriana Maria Queiroz da Silva Lima ; Leticia Raquel Amaro dos Santos ; Luiz Gabriel Araújo da Fonseca ; Ronilson Freitas de Souza (Org.). – Belém : EDUEPA, 2024. (Coleção Educação & (Com)Ciência na Amazônia / EDUEPA).
64 p.: il.

Inclui bibliografias

ISBN: 978-65-88106-76-1

1. Educação - Inovação. 2. Química orgânica. 3. Material didático. 4. Impressão 3D. 5. Educação básica. I. Lima, Adriana Maria Queiroz da Silva. II. Santos, Leticia Raquel Amaro dos. III. Fonseca, Luiz Gabriel Araújo da. IV. Souza, Ronilson Freitas de. V. Título.

CDD 371.12 – 22.ed.

Ficha Catalográfica: Rosilene Rocha CRB-2/1134

Editora filiada



Editora da Universidade do Estado do Pará - EDUEPA
Travessa D. Pedro I, 519 - CEP: 66050-100
E-mail: eduepa@uepa.br/livrariadauepa@gmail.com
Telefone: (91) 3284-9112



EDITOR DE ÁREA

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza (PPGEECA/UEPA/
Belém-PA)



CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO - Coleção Educação & (Com)Ciência na Amazônia / EDUEPA

Prof. Dr. Ademir de Souza Pereira/UFGD/Dourados-MS
Prof. Dr. Antônio dos Santos Júnior/IFRO/Porto Velho-RO
Prof. Dr. Alcindo da Silva Martins Junior/UEPA/Salvaterra-PA
Prof. Dr. Attico Inacio Chassot/UFRGS/Porto Alegre-RS
Profa. Dra. Andréa Pereira Mendonça/IFAM/Manaus-AM
Profa. Dra. Bianca Venturieri/UEPA/Belém-PA
Profa. Dra. Camila Maria Sitko/UNIFESSPA/Marabá-PA
Profa. Dra. Danielle Rodrigues Monteiro da Costa/UEPA/Marabá-PA
Prof. Dr. Diego Ramon Silva Machado/UEPA/Belém-PA
Prof. Dr. Erick Elisson Hosana Ribeiro/UEPA/Castanhal-PA
Profa. Dra. France Fraiha Martins/UFPA/Belém-PA
Profa. Dra. Fernanda Cátia Bozelli/UNESP/Ilha Solteira-SP
Prof. Dr. Gildo Giroto Junior/UNICAMP/Campinas-SP
Prof. Dr. Gilson Cruz Junior/UFOPA/Santarém-PA
Profa. Dra. Inês Trevisan/UEPA/Barcarena-PA
Prof. Dr. Ives Solano Araujo/UFRGS/Porto Alegre-RS
Profa. Dra. Jacirene Vasconcelos de Albuquerque/UEPA/Belém-PA
Prof. Dr. Jesus de Nazaré Cardoso Brabo/UFPA/Belém-PA
Prof. Dr. José Fernando Pereira Leal/UEPA/Castanhal-PA
Prof. Dr. João Elias Vidueira Ferreira/IFPA/Tucuruí-PA
Prof. Dr. Leandro Passarinho Reis Júnior/UFPA/Belém-PA
Prof. Dr. Leonir Lorenzetti/UFPR/Curitiba-PR
Profa. Dra. Luely Oliveira da Silva/UEPA/Belém-PA
Prof. Dr. Luis Miguel Dias Caetano/UNILAB/Redenção-CE
Profa. Dra. Maria Inês de Freitas Petrucci Rosa UNICAMP/Campinas-SP
Profa. Dra. Milta Mariane da Mata Martins UEPA/Conceição do Araguaia-PA
Profa. Dra. Priscyla Cristinny Santiago da Luz/UEPA/Moju-PA
Profa. Dra. Sandra Kariny Saldanha de Oliveira/UERR/Boa Vista-RR
Profa. Dra. Sinaida Maria Vasconcelos/UEPA/Belém-PA
Prof. Dr. Thiago Antunes-Souza/UNIFESP/Diadema-SP
Prof. Dr. Vitor Hugo Borba Manzke/IFSul/Pelotas-RS
Prof. Dr. Wilton Rabelo Pessoa/UFPA/Belém-PA

Sobre os/as autores/as



ADRIANA MARIA QUEIROZ DA SILVA LIMA

Possui graduação em Licenciatura Plena em Química, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, mestrado em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia, pela Universidade do Estado do Pará e é professora efetiva da Secretaria de Estado de Educação (SEDUC-PA). Contato: adrianaqslima@gmail.com ID Lattes: 7125785925097225. ORCID: 0000-0002-3507-3184.



LETICIA RAQUEL AMARO DOS SANTOS

Possui graduação em Licenciatura em Ciências Naturais, pela Universidade Federal do Pará, e mestrado, pelo Programa de Pós-Graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia da Universidade do Estado do Pará. Contato: leticiaaraquelamaro@gmail.com ID Lattes: 8270002167519435. ORCID: 0009-0004-5402-7011.



LUIZ GABRIEL ARAÚJO DA FONSECA

Possui graduação em Licenciatura em Química, pela Universidade do Estado do Pará, e mestrado, pelo Programa de Pós-Graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia da Universidade do Estado do Pará. Contato: luiz.gad.fonseca@aluno.uepa.br. ID Lattes: 5465487046394238. ORCID: 0000-0003-3650-3454.



RONILSON FREITAS DE SOUZA

Possui doutorado em Química Orgânica, pela Universidade Federal do Pará e é professor do Departamento de Ciências Naturais da Universidade do Estado do Pará (UEPA) e docente permanente do Mestrado Profissional em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia, da Universidade do Estado do Pará. Contato: ronilson@uepa.br. ID Lattes: 0747461930362318. ORCID: 0000-0002-0463-8584.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
PREFÁCIO	11
CAPÍTULO 1: USO DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA.....	13
CAPÍTULO 2: COMPONENTES DO MATERIAL DIDÁTICO	21
CAPÍTULO 3: PROPOSTAS DIDÁTICAS PARA O ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA	37
CAPÍTULO 4: SOLUÇÕES DE POSSÍVEIS PROBLEMAS DE MODELAGEM E DE IMPRESSÃO EM 3D	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	58
ÍNDICE REMISSIVO.....	62

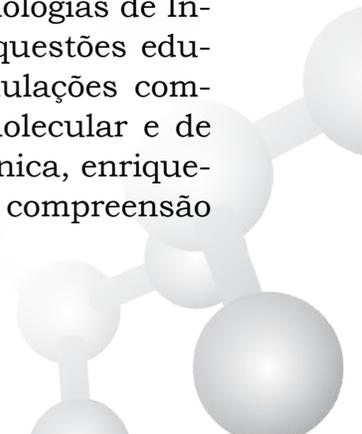


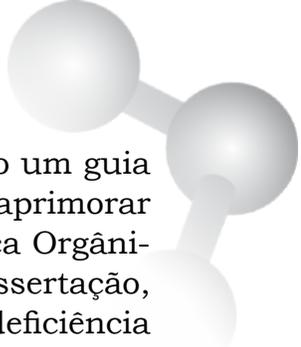
APRESENTAÇÃO

O ensino de Química Orgânica tem passado por significativas transformações, ao longo das décadas, refletindo uma evolução nas abordagens pedagógicas. Nos séculos XVIII e XIX, predominava a memorização de classificação de substâncias, de fórmulas e de nomenclaturas, mas o século XX foi marcado pela introdução de modelos tridimensionais e de representações gráficas como ferramentas essenciais ao processo de ensino.

A partir dos anos 1950, as aulas expositivas passaram a ser complementadas por experimentos em laboratórios. Na década de 1980, ampliando a compreensão dos conceitos, por parte dos alunos, surge um movimento, em direção à contextualização no ensino de Química, destacando-se a Química Orgânica, pela sua vasta gama de aplicações, como os estudos e desenvolvimentos de medicamentos, de alimentos, de cosméticos, de questões ambientais e de polímeros. Essas associações têm desempenhado papéis cruciais em motivar e em despertar o interesse dos alunos por esta disciplina, refletindo-se também na presença destas abordagens em livros didáticos.

No século XXI, com o avanço das Tecnologias de Informação e Comunicação, entrelaçadas às questões educacionais, observamos a integração de simulações computacionais, de softwares de modelagem molecular e de recursos on-line ao ensino de Química Orgânica, enriquecendo as atividades práticas e facilitando a compreensão dos conceitos.





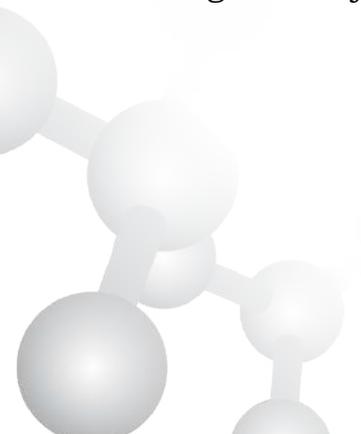
Nessa perspectiva, este e-book surge como um guia para professores de Química, com o objetivo de aprimorar o processo de ensino e aprendizagem da Química Orgânica. Esse é fruto de pesquisa, tendo início na dissertação, intitulada Química Orgânica para alunos com deficiência visual: uma estratégia de aprendizagem combinando uso de modelos 3D e audiodescrição, realizada por Adriana Maria Queiroz da Silva Lima, em 2022, junto ao Programa de Pós-graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia.

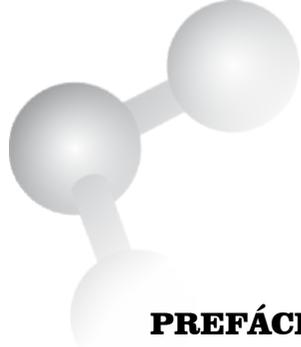
Esse material está organizado em quatro capítulos: o primeiro, aborda o uso da impressão 3D no ensino de Química Orgânica; o segundo, discute os componentes do material didático; o terceiro, apresenta propostas didáticas para o ensino de Química Orgânica na educação básica; e o quarto aborda possíveis soluções para problemas nos momentos da modelagem e da realização da impressão 3D. Ao longo destes capítulos, são fornecidos links, vídeos e outros recursos, que podem enriquecer a prática educativa.

Destinado a professores que reconhecem a importância das estratégias didáticas na promoção de aulas mais criativas e eficazes, esse material visa contribuir para o desenvolvimento de novas práticas educativas no ensino de Química Orgânica em sala de aula.

Expressamos nossa satisfação e nossa honra pelo seu interesse neste tema e esperamos que este material bibliográfico seja útil e inspirador em sua jornada educativa.

Os/as autores/as





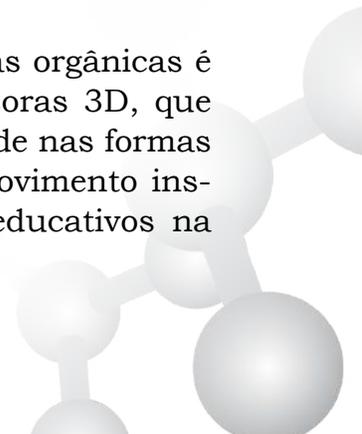
PREFÁCIO

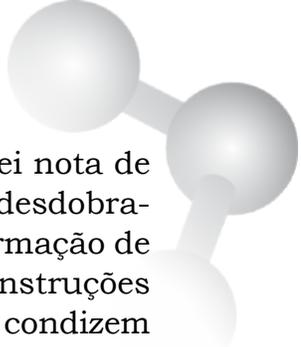
Ao longo dos anos de estudos e de experiências na Química Orgânica, tomamos conhecimento de que existem milhões de compostos orgânicos e de que cada um tem propriedades físicas e reatividades específicas. Aprendemos que as características estruturais das moléculas são um caminho para estudos e para classificações das substâncias orgânicas, e seus aspectos tridimensionais são um tema de especial importância para a compreensão do mundo material.

Quando adentramos no mundo espacial das moléculas, percebemos que este é um assunto um tanto complexo, sendo notável a necessidade de construções de estratégias que forneçam representações visuais das substâncias, que considero um dos maiores desafios ao ensino de Química Orgânica.

Foi a partir destas reflexões que tive a oportunidade de conhecer esta obra, projetada para ajudar professores e estudantes da Química Orgânica. Mais do que uma obra técnica, esse livro realiza um movimento complementar e necessário ao ensino da disciplina, lançando mão da inovação na Educação, por meio da associação entre ideias criativas e tecnologia.

Perceber a materialização de moléculas orgânicas é uma funcionalidade fantástica das impressoras 3D, que provoca até mesmo mudanças de mentalidade nas formas de compreender e de ensinar, sendo um movimento inspirador ao desenvolvimento de processos educativos na Química.





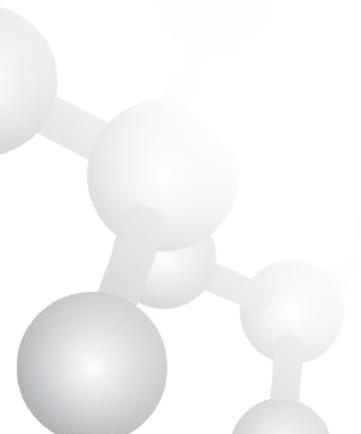
Conforme avancei na leitura da obra, tomei nota de percepções valiosas, que considero possíveis desdobramentos, que concorrem com minhas ideias de formação de professores para a educação básica, quanto a construções de preleções intelectualmente estimulantes, que condizem com a inovação na Educação.

No movimento desta leitura, desejo, aos leitores e às leitoras que, assim como eu, possam acirrar o olhar para a estruturas tridimensionais das moléculas, que determinam como elas poderão interagir com o ambiente, e assim tratar da importância do conhecimento químico escolar para as formações de alunos e de professores.

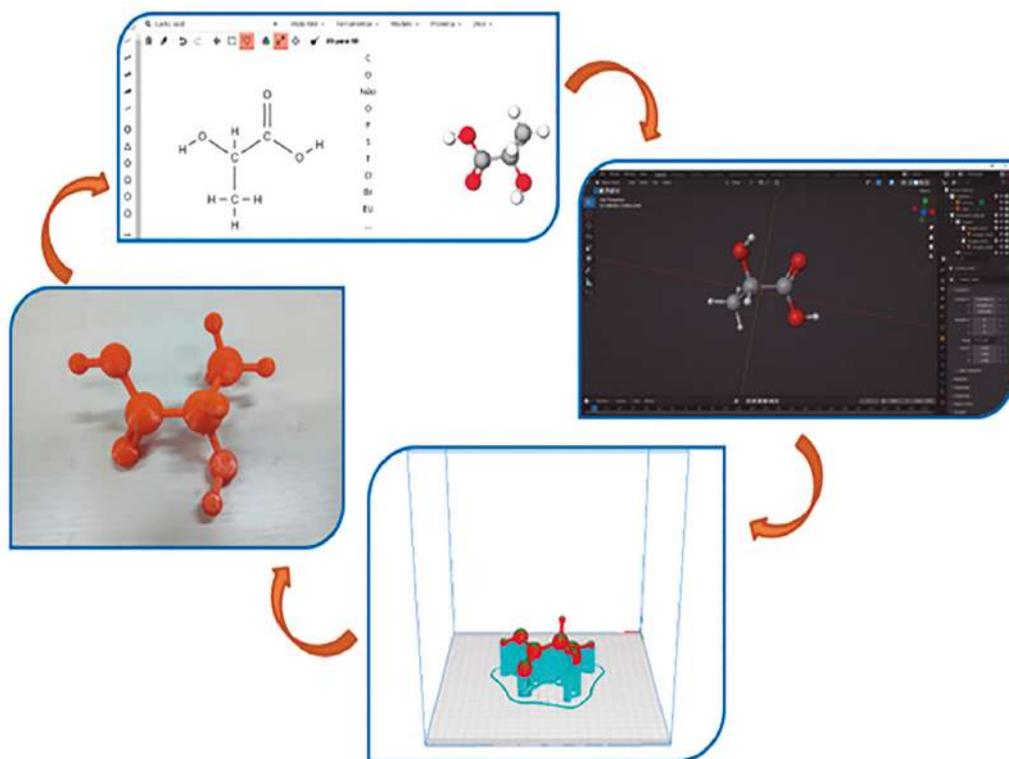
Finalizo este prefácio, agradecendo aos autores, pelo convite, pelo qual me senti muito honrada, e digo que foi extremamente prazeroso escrevê-lo.

Profa. Dra Luely Oliveira da Silva

Belém/PA, 04 de julho de 2024



USO DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA



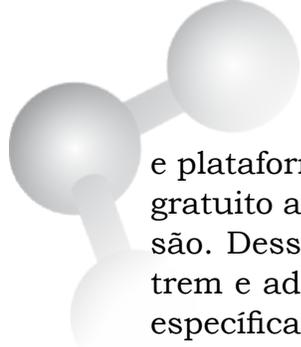
Impressão 3D aplicada na Educação

A impressão 3D teve suas origens com os trabalhos de Kodama (1981) e de Hull (1984), que desenvolveram métodos para criar modelos plásticos, através da solidificação de fotopolímeros, utilizando raios ultravioleta. Hull, em particular, patenteou o método conhecido como estereolitografia, inspirado pelo seu trabalho em uma empresa, que produzia revestimentos para mesas (Aguiar, 2016). Esse método se tornou uma das formas mais utilizadas de manufatura aditiva, no qual, por meio de uma reação de cura, a resina líquida fotopolimerizável é depositada, camada por camada, atingindo posteriormente o estado sólido.

Por sua vez, também conhecida como “fabricação aditiva”, a impressão 3D cria objetos, aquecendo materiais maleáveis (comumente, plástico), que são colocados, camada por camada, para formar um objeto 3D tangível (Prince, 2014). Esse método é conhecido como *Fused Deposition Modeling* (FDM) (modelagem por deposição de material fundido). Porém, devido a restrições de uso, relacionadas a marcas registradas, é também denominado *Filament Fused Fabrication* (FFF) (fabricação por filamento fundido), expressão de uso livre (Aguiar, 2016).

Em geral, o processo de modelagem para impressão se inicia com um projeto assistido por programas *Computer-aided design* (CAD), ou seja, com um projeto criado com o uso de um programa de modelagem 3D. Em seguida, o projeto já modelado é transferido para um programa de fatiamento, onde será transformado em um arquivo imprimível e onde serão realizadas as configurações-padrão de qualidade da peça. Cumprida esta etapa, o arquivo é enviado à impressora, que materializa o projeto (Prince, 2014).

Dada a acentuada curva de aprendizagem do processo de modelagem, foram criadas algumas comunidades

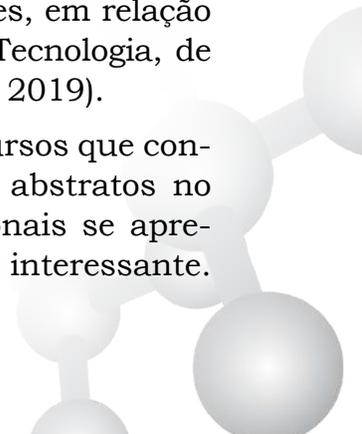


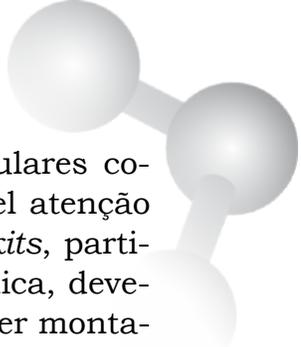
e plataformas on-line de acesso livre, que oferecem acesso gratuito a uma variedade de *designs* prontos para impressão. Dessa forma, elas permitem que os usuários encontrem e adaptem projetos facilmente as suas necessidades específicas (Stone *et al.*, 2020). Tal prática de compartilhamento e a necessidade que a sociedade apresenta, frente aos avanços tecnológicos, são vistas como alguns dos fatores responsáveis pela difusão da impressão 3D entre o público em geral e no contexto educacional.

De forma geral, a Educação vem recebendo cada vez mais inserções da tecnologia, o que tem suscitado mudanças nas metodologias de ensino em prol de beneficiar o processo formativo. De acordo com Aguiar (2016), as teorias científicas requerem visualização, o que pede a capacidade dos alunos de abstrair conceitos. Com isso, a falta de compreensão teórica, combinada a representações gráficas simplificadas e muitas vezes inadequadas, contribui para interpretações equivocadas dos objetos em estudo. A partir deste contexto, faz-se importante a articulação entre conteúdos e tecnologias.

A utilização de tecnologias de fabricação aditiva para apoiar a Educação não é recente, sendo observada no ensino superior, em especial. As áreas de Arquitetura e de Engenharia foram as primeiras a adotar o recurso, bem como há relatos de cursos na área das Ciências Biológicas e da Saúde que fazem uso de modelos anatômicos impressos em 3D. O uso desta tecnologia no ensino abre possibilidades para desenvolver competências, para aumentar o envolvimento dos alunos e para melhorar as atitudes, em relação às disciplinas e às carreiras de Ciência, de Tecnologia, de Engenharia e de Matemática (Ford; Minshall, 2019).

Quando se observa a utilização de recursos que contribuem para a visualização de fenômenos abstratos no ensino de Química, os modelos tridimensionais se apresentam como uma ferramenta pedagógica interessante.



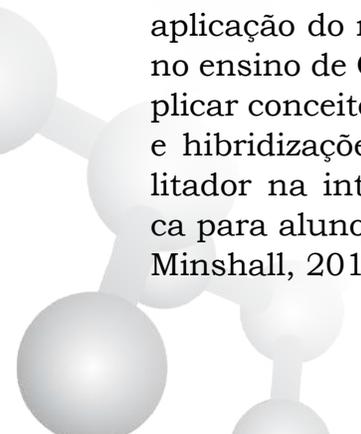


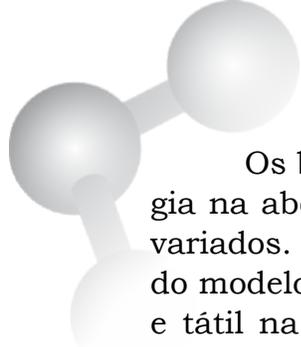
Dessa forma, o desenvolvimento de *kits* moleculares comerciais, como o *Molymod*, recebeu considerável atenção nos últimos anos. O sucesso comercial destes *kits*, particularmente entre estudantes de Química Orgânica, deve-se a sua natureza modular, pois estes podem ser montados, modificados e desmontados.

Os *kits* convencionais de modelagem química apresentam, no entanto, limitações nos tipos e na precisão das moléculas, bem como nas ligações e nas estruturas que podem ser montadas, mas o desenvolvimento da tecnologia de impressão 3D permite superar tais limitações, com a criação e a personalização de uma variedade de moléculas para o ensino (Jones; Spencer, 2018). Além deste ponto a favor da tecnologia, as impressoras 3D viabilizam uma rápida produção de cópias do projeto desejado, auxiliando os educadores a elaborarem recursos educacionais específicos para atender com precisão às demandas identificadas em sua prática.

Os custos do uso desta tecnologia são variados. No mercado, os valores das máquinas de impressão variam, conforme modelo e fornecedor, mas há estudos que trazem projetos de construção de impressoras 3D de baixo custo. Em referência aos filamentos utilizados, esses podem ser encontrados por preços acessíveis, podendo ser utilizados inúmeras vezes, a depender das demandas de uso da impressão.

Contudo, o uso de impressão 3D na educação básica ainda é recente e há poucos relatos, quando comparado à aplicação do recurso no ensino superior. Especificamente no ensino de Química, encontra-se relatos de uso para explicar conceitos de atomística (Chery *et al.*, 2015), ligações e hibridizações (Penny *et al.*, 2017) e, ainda, como facilitador na introdução de conteúdos de Química Orgânica para alunos com deficiência visual, entre outros (Ford; Minshall, 2019).





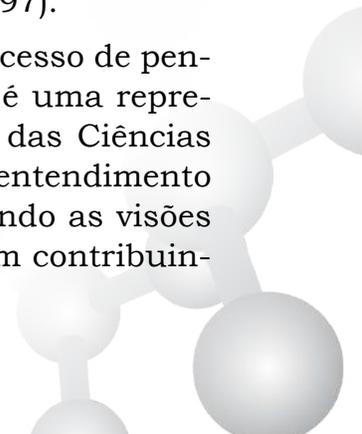
Os benefícios citados, em relação ao uso da tecnologia na abordagem de conteúdos da educação básica, são variados. Destaca-se a capacidade de replicação de cópias do modelo desejado, facilitando as compreensões espacial e tátil na Educação, pois os alunos podem manipular o modelo em todas as suas dimensões, promovendo, além disso, abordagens ativas de ensino, trabalhos em equipe e trocas de ideias.

O uso de estruturas tridimensionais no ensino de Química

Seguindo o avanço tecnológico e o rápido desenvolvimento das novas tecnologias, a Informática cresceu em nosso cotidiano. Como consequência, as mudanças foram sentidas em todos os âmbitos da sociedade, inclusive no escolar, sobretudo nas metodologias e nos recursos didáticos. Assim, surge a Química Computacional, também conhecida como Modelagem Molecular, ferramenta que possibilita, aos alunos, a investigação de propriedades e a previsão de estruturas atômicas e moleculares (Rodrigues, 2001).

A União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), que representa a comunidade internacional de pesquisadores em Química, define a modelagem molecular como a parte da Química que trata das análises de estruturas moleculares e de propriedades, para fornecer uma representação tridimensional plausível, sob um determinado conjunto de circunstâncias (IUPAC, 1997).

A utilização de modelos auxilia no processo de pensar sobre o mundo físico, pois um modelo é uma representação deste mundo. Para que o ensino das Ciências Naturais, bem como de Química, favoreça o entendimento do meio no qual estamos inseridos, ampliando as visões do social, do cultural e do tecnológico, assim contribuindo-

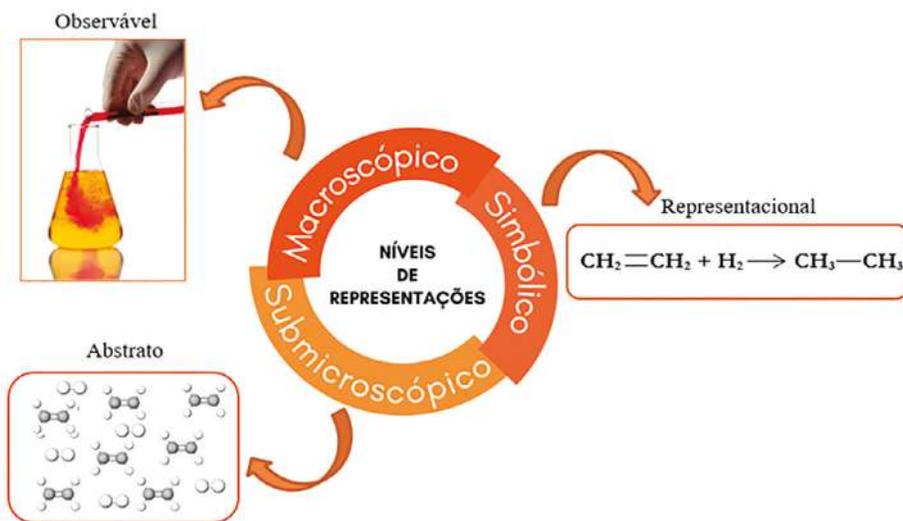


do para uma educação cidadã, é necessário que haja uma correlação do conhecimento visto em sala de aula com o contexto, no qual o aluno está inserido.

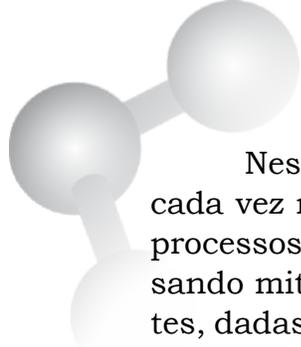
O mesmo deve ocorrer na articulação entre os mundos macro e micro, uma vez que, para a compreensão de uma transformação química, é preciso recorrer à construção e à interpretação de modelos explicativos do mundo microscópico, que subsidiem a compreensão destas transformações, oferecendo oportunidades, aos alunos, de vivenciar momentos de investigação, exercitando e ampliando suas curiosidades.

O conceito de conexão entre os três níveis de representação propostos por Johnstone (1982) — macroscópico (observável), submicroscópico (não observável) e simbólico (representacional) — está representada na Figura 1, que apresenta a ideia dos níveis de representação, utilizando, como exemplo, uma reação de adição.

Figura 1 – Níveis de representação, referentes à reação de hidrogenação



Fonte: adaptado de Johnstone (1982)

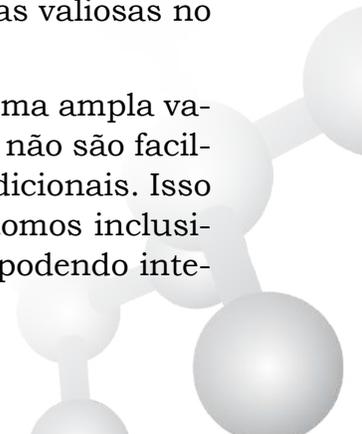


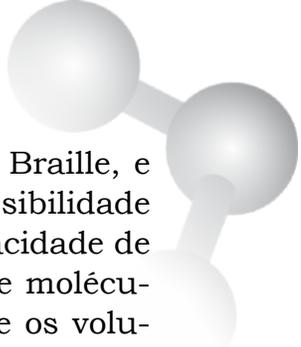
Nesse sentido, modelos tridimensionais têm sido cada vez mais usados em atividades didáticas, consoante processos de construção e reformulação de modelos, visando mitigar a dificuldade de compreensão dos estudantes, dadas as naturezas altamente abstrata e conceitual da disciplina de Química. Assim, os avanços nos programas de modelagem molecular têm transformado e possibilitado uma compreensão mais significativa do processo de ensino-aprendizagem, visto que grande parte dos programas de modelagem molecular é capaz de desenhar, de visualizar em 3D, de manipular, de nomear moléculas, além de realizar cálculos de otimização geométrica e estudos de análise conformacional (Ramos; Serrano, 2013).

A manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia inovadora, que permite a criação de objetos tridimensionais, a partir de modelos digitais, camada por camada (Volpato, 2017). No ensino de Química, essa tecnologia oferece várias vantagens significativas, em comparação a outros métodos de representação tridimensional.

As principais vantagens da impressão 3D incluem melhorias na visualização e na compreensão de estruturas moleculares complexas. Ainda, a criação de modelos tangíveis e altamente detalhados ajuda os estudantes a compreenderem melhor conceitos abstratos, como os de isomeria e de estrutura molecular (Lima *et al.*, 2022; Lounnas *et al.*, 2014). Além disso, nos últimos anos, esses modelos têm se tornado versáteis e economicamente viáveis, principalmente, tornando-se ferramentas valiosas no ambiente educacional.

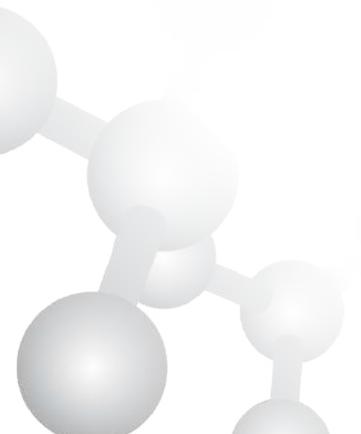
A impressão 3D permite a criação de uma ampla variedade de moléculas, incluindo aquelas que não são facilmente representadas por *kits* comerciais tradicionais. Isso inclui a possibilidade de criar modelos de átomos inclusivos para estudantes com deficiência visual, podendo inte-



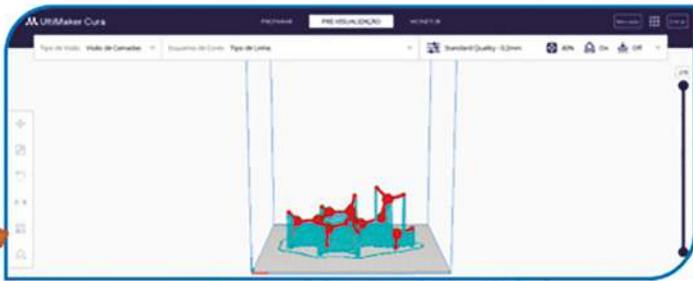


grar recursos, como, por exemplo, a linguagem Braille, e consequentemente promover a inclusão e a acessibilidade no ensino de Química (Lima *et al.*, 2022). A capacidade de criar representações tridimensionais precisas de moléculas permite que os alunos explorem as formas e os volumes das moléculas de maneira mais tangível e interativa (Pinger; Geiger; Spence, 2020).

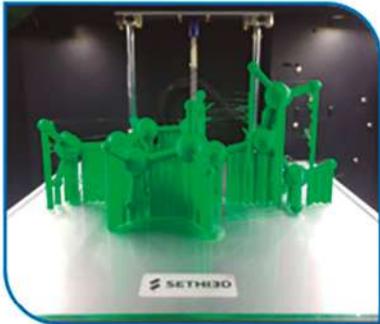
A impressão 3D se tornou mais acessível e econômica, com impressoras de baixo custo e com materiais mais disponíveis. Isso facilita a integração desta tecnologia a escolas e a universidades, em diversas áreas das Ciências Exatas e Naturais, permitindo sua disseminação e seu uso nos mais diversos ambientes educacionais (Pires, 2021). Portanto, além de melhorar o engajamento dos alunos, através de abordagens prática e interativa, a tecnologia facilita a compreensão de estruturas complexas e democratiza o acesso a elas.



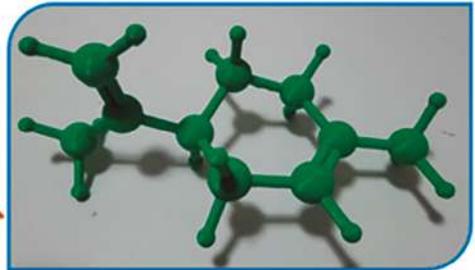
COMPONENTES DO MATERIAL DIDÁTICO



MOLÉCULA NO FATIADOR



MOLÉCULA NA IMPRESSORA 3D



MOLÉCULA IMPRESSA

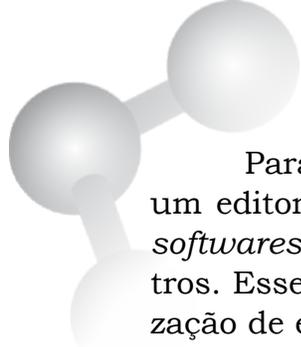
Procedimentos de modelagem e parâmetros de impressão

A obtenção de projetos moleculares para a impressão 3D pode ocorrer, a partir de duas possibilidades: base de dados pré-existentes (editores químicos); e elaboração de estruturas, através de programas de desenho realistas, os chamados programas *Computer Aided Design* (CAD), como apresenta a Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma de obtenção de projetos de impressão 3D



Fonte: autores (2024)

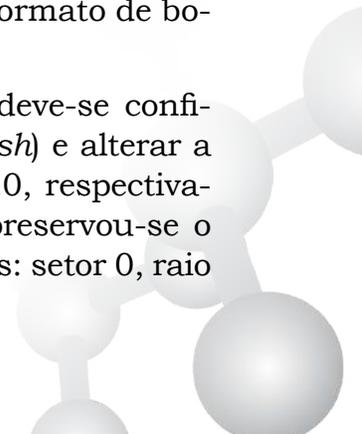


Para o desenvolvimento dos projetos, partindo de um editor de desenhos químicos, pode-se utilizar *sites* e *softwares*, como *Molview*, *KingDraw*, *Chemdraw* entre outros. Esses programas permitem a elaboração e a visualização de estruturas moleculares em 2D e em 3D, além de possibilitar a edição das estruturas já disponibilizadas na base de dados e de destacar aspectos, referentes a cálculos de massa, de superfície e de dipolos, além de ângulos diédricos de ligações químicas.

Ao acessá-los e ao explorar estruturas já existentes ou desenhar novas representações, essas devem ser salvas na extensão MDL (.mol), a qual assegura a manutenção das características tridimensionais das moléculas. No entanto, arquivos neste formato, que apresentam compostos com hibridizações sp e sp^2 , quando acessados por modeladores 3D, tendem a apresentar falhas estruturais, com isto se recomenda a conversão de arquivos com formato MDL para a extensão PDB (.pdb). Para este fim, fez-se o uso do programa *OpenBabel*, um programa de código livre, que possibilita preservar as características tridimensionais de moléculas, que apresentam este tipo de ligação.

Feita a conversão da extensão dos projetos, esses devem ser importados para o programa *Blender 3D*, utilizando o *add-on* “*Atomic Blender*”. Ressalte-se que este recurso pertence ao programa e não necessita ser adquirido de forma externa, sendo apenas necessário ser ativado na aba, referente a configurações. Esse *add-on* importa e lê as coordenadas de estruturas atômicas tridimensionais nas extensões PDB e XYZ, representando-as no formato de bolas e bastões.

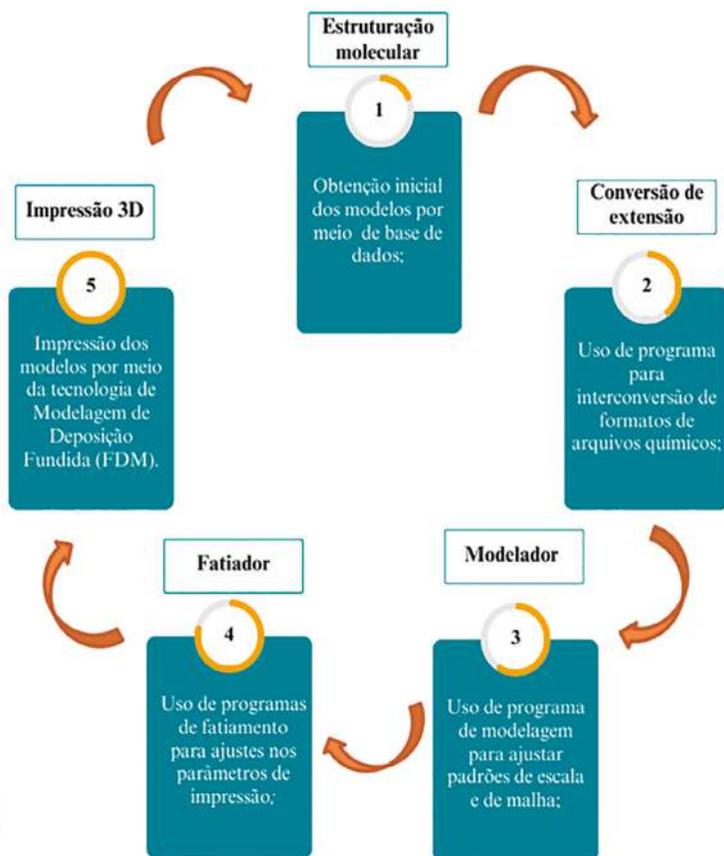
Ao executar o projeto no modelador, deve-se configurar a sua representação para “Malha” (*Mesh*) e alterar a escala de bolas e bastões para 0.5 e para 1.0, respectivamente. Para o modelo de bolas e bastões, preservou-se o tipo “*Dupliverts*”, com os seguintes parâmetros: setor 0, raio



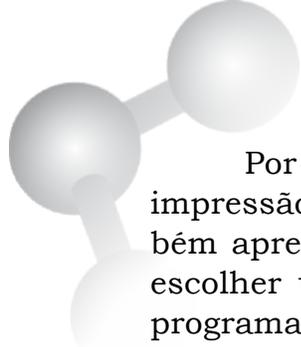
igual a 0,1 e unidade 0,05. Por meio do parâmetro “Bonds”, dá-se evidência às ligações, objetivando obter uma melhor visão da malha da estrutura em uso no programa.

Feito isto, ainda no *Blender 3D*, deve ser explorada as ferramentas de modificação de escalas dos átomos; de ajuste das instâncias das ligações, para tornar a estrutura menos propensa a falhas estruturais; e de renderização e suavização da malha para posterior exportação do projeto para um programa de fatiamento. A síntese de todo o processo se encontra na Figura 3.

Figura 3 – Síntese do processo de utilização de editores químicos



Fonte: autores (2024)



Por sua vez, o processo de elaboração do projeto de impressão, sem a utilização de uma base de dados, também apresenta especificidades. Para executá-lo, deve-se escolher um programa de modelagem 3D ou, também, programas do tipo CAD, como *AutoCAD*, *3DS Max*, *SolidWorks*, entre outros. Na criação destes projetos, pode-se especificar aspectos e parâmetros com precisão, como materiais, montagem e dimensões.

Independentemente do programa a ser utilizado, no início, deve-se configurar o *layout* da tela inicial do programa para “*3D Basic*” e a vista da tela deverá ser alterada para “*SW Isometric*”, para se ter uma visão panorâmica do projeto a ser elaborado. Para exemplificar os principais comandos a serem explorados, o programa de base aqui é o *AutoCAD*, um dos mais completos para desenhos técnicos e para diversos projetos, que precisam de elevado nível de precisão.

Realizado o ajuste de visão de tela, alguns comandos devem ser executados, a fim de construir os sólidos geométricos, que possam representar estruturas químicas com encaixes, sendo estes: *Box*; *Extrude*; *Revolve*; *Loft*; *Sweep*; *Presspull*; *Union*; e *Intersect*.

Em suma, esses comandos objetivam escolher o sólido a ser utilizado, elaborar elevações, sobreposições ou mesclagens nas figuras, além de realizar união, subtração e interseção destas. Embora se necessite de uma curva acentuada de aprendizagem para dominar programas CAD, com estes nove comandos gerais, é possível elaborar representações e projetos modulares de compostos, para uso no ensino de Química, em especial a Química Orgânica, a qual aborda longas cadeias de carbono. Na Figura 4, encontra-se a síntese do processo geral.

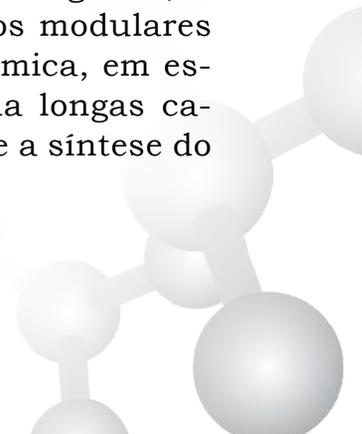
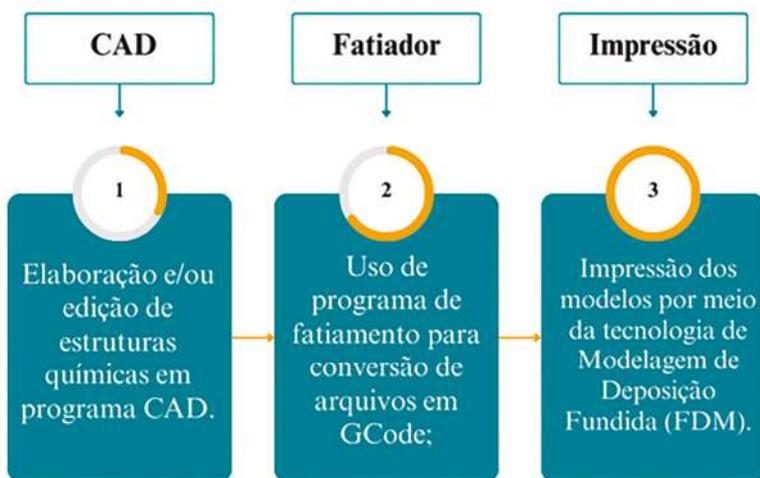


Figura 4 – Síntese do processo, utilizando o programa do tipo CAD

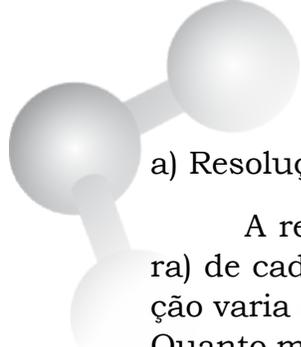


Fonte: autores (2024)

Realizada a elaboração dos projetos, seja por estruturador molecular, seja pelo uso direto de um programa CAD, os arquivos deverão ser salvos na extensão *STereo-Lithography* (.stl), sendo posteriormente exportados para um fatiador. Esses programas têm, como premissa, fazer a conversão de projetos tridimensionais para a extensão G-Code (.gcode), permitindo que sejam impressos camada por camada, com precisão e com detalhamento.

Parâmetros de fatiamento para impressão 3D

Os parâmetros de impressão devem ser ajustados no programa de fatiamento, após os procedimentos de modelagem. Nesse material, indica-se o uso do programa *Ulti-maker Cura*, devido ao fato deste ser um programa gratuito e de fácil acesso, que apresenta uma gama de parâmetros de impressão essenciais ao alcance de bons resultados. Embora o programa disponha de variadas possibilidades de configurações, aqui serão descritos apenas os principais parâmetros usados na impressão das peças.



a) Resolução de camada

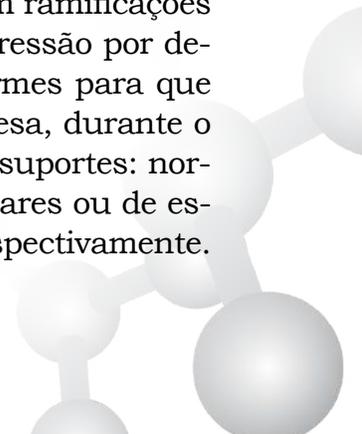
A resolução de camada se refere à altura (espessura) de cada camada na composição da peça. Essa resolução varia entre 0,06 mm (extrafino) e 0,6 mm (extra grosso). Quanto mais próximo do extrafino, maior é a qualidade da peça, demandando maior tempo de impressão, no entanto.

b) Preenchimento

Como o próprio nome indica, tal se refere ao preenchimento da peça. Os ajustes para este parâmetro variam de 0% a 100% e dependem das características e do uso da peça a ser impressa. Quanto mais próximo da densidade do preenchimento de 100%, mais resistente a peça será, necessitando de maior tempo de impressão, no entanto. Recomenda-se a margem de 30% a 50% de preenchimento, para aliar uma boa resistência a um bom tempo de impressão. Além da densidade, deve-se ajustar o tipo de preenchimento a ser utilizado, ou seja, a forma de preenchimento da peça. O *Cura* apresenta 14 tipos de preenchimento, que variam entre as formas de grades, linhas e padrões geométricos, que devem ser ajustados, de acordo com a necessidade da peça, no entanto se recomenda o uso do tipo grade, devido a sua boa adequação aos diversos formatos de peças.

c) Suporte

Esse parâmetro é fundamental para dar apoio a peças que tenham considerável altura ou apresentem ramificações em sua estrutura. Devido ao processo de impressão por deposição de camadas, essas precisam estar firmes para que a peça não apresente falhas ou se solte da mesa, durante o processo. No programa, existem dois tipos de suportes: normal; e árvore, que apresentam aspectos de pilares ou de estruturas, que remetem a galhos de árvores, respectivamente.



d) Aderência

O parâmetro aderência garante a fixação da peça à mesa e a qualidade das primeiras camadas a serem impressas. Como a impressão 3D é realizada por deposição de camadas, as primeiras servem como base e devem apresentar boa qualidade, visando dar estrutura à materialização da peça. O programa traz três tipos de aderência, que se diferenciam pela necessidade de densidade da fixação da peça.

e) Material

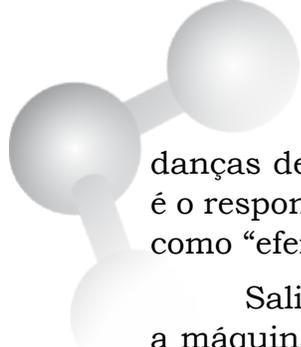
A configuração deste parâmetro garante a compatibilidade entre as características do filamento utilizado e as da impressora. Deve-se ajustar a temperatura da mesa de impressão e da extrusora (bico), que deve seguir os limites do material utilizado. Em caso de não configuração ou erro, há o risco de que o fluxo de filamento a ser depositado seja maior ou menor do que o esperado, causando falhas nas peças ou danos técnicos na impressora, como o entupimento da extrusora.

f) Velocidade de impressão

A velocidade de impressão se refere à rapidez a ser empregada na construção da peça. Recomenda-se que a velocidade seja entre 40 mm/s e 60 mm/s, para haver uma boa aderência entre as camadas e, conseqüentemente, uma boa qualidade. Ressalte-se que, mesmo com os demais parâmetros ajustados, se a velocidade for configurada de maneira equivocada, a peça apresentará falhas. Esse é um dos parâmetros mais importantes, cujo ajuste demanda muita atenção.

g) Retração

Esse parâmetro é responsável pelo recuo do filamento para dentro do bico de extrusão, quando houver mu-



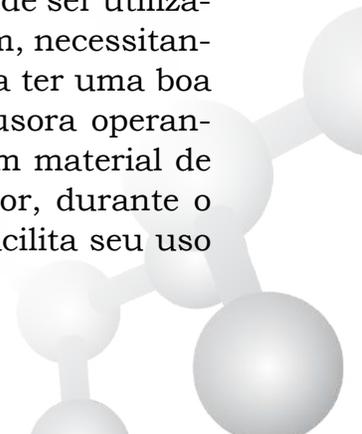
danças de posição, durante a impressão. Esse parâmetro é o responsável por evitar o “*stringing*”, também conhecida como “efeito teia de aranha” nas peças.

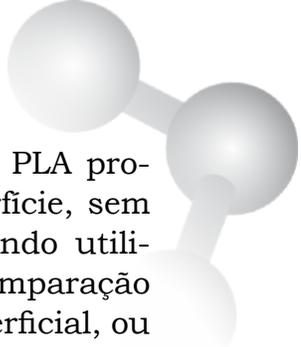
Saliente-se que o valor de retração varia, conforme a máquina e o material utilizados, logo é necessário fazer testes deste parâmetro, antes de imprimir o projeto. Contudo, no geral, é improvável que os valores ultrapassem os 5 mm ou fiquem abaixo de 1 mm.

Ressalte-se, também, o material utilizado para a impressão das peças. Para as impressoras do tipo FDM, geralmente são utilizados filamentos PLA (ácido polilático), ABS (acrilonitrina butadieno estireno) e PETG (polietileno tereftalato glicol). Esses filamentos devem ser escolhidos, de acordo com a necessidade da peça a ser impressa.

De acordo com Santana *et al.* (2018), o PETG pode ser utilizado por impressoras abertas e fechadas, sem perda de qualidade do produto, sendo usado para a construção de peças que precisam de maiores resistências mecânica, química e térmica. Para uma boa fixação do material, a mesa de impressão precisa estar à temperatura de 85°C, em média, e a extrusora, entre 235°C e 255°C. Devido a estas propriedades de aquecimento, o PETG se torna mais difícil de ser trabalhado, uma vez que ajustes incorretos no bico de extrusão ou nos parâmetros como velocidade, retração e temperatura não foram ajustados corretamente, certamente acarretarão falhas estruturais ou presença de fios soltos na peça.

Assim como o PETG, o PLA também pode ser utilizado em impressoras abertas e fechadas, porém, necessitando de uma temperatura de 10°C a 60°C para ter uma boa fixação na mesa de impressão, com a extrusora operando entre 180°C e 210°C. Por se tratar de um material de origem biodegradável, ele não apresenta odor, durante o processo de impressão, característica que facilita seu uso





na impressão 3D, por iniciantes. Além disso, o PLA proporciona altas resistência e qualidade de superfície, sem a necessidade de grandes acabamentos, bastando utilizar uma tinta acrílica para colorir a peça. Em comparação com o PETG, o PLA apresenta maior dureza superficial, ou seja, é mais difícil de a peça ser riscada ou furada, após a impressão.

Por fim, tem-se o filamento ABS, originado de produtos de petróleo, cuja melhor forma de utilização demanda uma sala ventilada. Tal material apresenta boas resistências mecânica e térmica e facilidade de acabamento posterior, seja com lixa, seja usando solventes, como a acetona. As temperaturas indicadas para a manipulação deste material são maiores do que as de uso do PLA, necessitando de que a mesa esteja aquecida à 110°C, em média, e a extrusora, na faixa de 220°C a 240°C.

Embora apresente vantagens, esse material apresenta uma forte contração, em especial quando usado em impressoras abertas. Além disso, por se tratar de material oriundo do petróleo, apresenta forte odor. Em desvantagem ao PLA e ao PETG, o ABS é mais indicado para uso em impressoras fechadas e obrigatoriamente necessita de uma mesa aquecida à temperatura média. Para auxiliar na fixação da peça, recomenda-se o uso de adesivos, de colas ou, mesmo, de laquê de cabelo — esse, amplamente utilizado por usuários de impressões 3D.

Proposta de modelagem e parâmetros de impressão

Nessa seção, trataremos uma proposta para modelagem de estruturas químicas tridimensionais, apresentando os programas que podem ser utilizados e os parâmetros escolhidos para a impressão, conforme exemplificado na Figura 5.

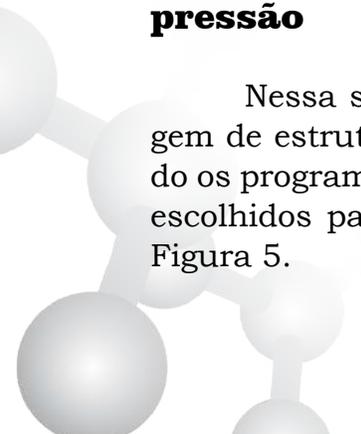
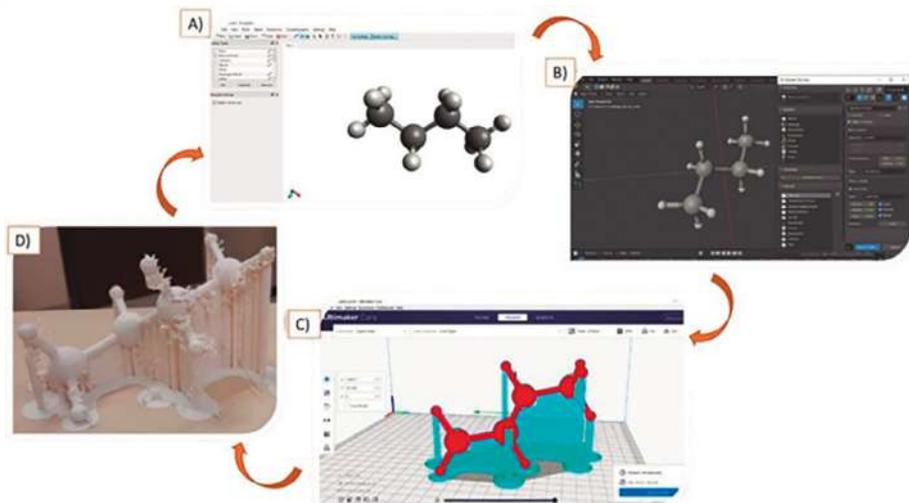


Figura 5 – Ciclos de modelagem e de impressão da molécula de butano: desenho tridimensional, feito no programa *Avogadro* (A); ajustes dos tamanhos, feitos no programa *Blender* (B); ajustes dos parâmetros de impressão, feitos no programa *Ultimaker Cura* (C); e molécula de butano impressa, antes da retirada dos suportes de impressão (D)



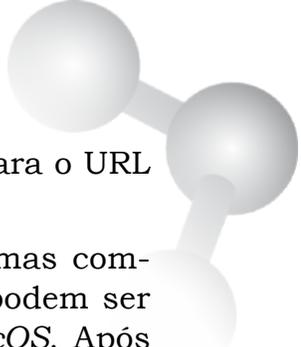
Fonte: Lima e Souza (2022)

Essa proposta de modelagem e de impressão de estruturas químicas tridimensionais demanda a instalação de três programas computacionais: *Avogadro*; *OpenBabel*; e *Blender*, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Programas computacionais utilizados na modelagem das estruturas químicas em três dimensões



Fonte: Lima e Souza (2022)



Cada código QR da imagem redireciona para o URL de *download* do respectivo programa.

É importante ressaltar que estes programas computacionais são gratuitos e de licença livre e podem ser instalados em sistemas *Windows*, *Linux* e *MacOS*. Após a instalação, estamos prontos para iniciar o processo de modelagem.

Iniciaremos pelo programa *Avogadro*, editor e visualizador avançado de moléculas, projetado para uso multiplataforma em Química Computacional, em modelagem molecular, em Bioinformática, em Ciência de Materiais e em áreas relacionadas. Ele oferece uma renderização flexível de alta qualidade e uma poderosa arquitetura de *plugins*. O objetivo principal, ao utilizar o programa *Avogadro*, é o de obter as estruturas das moléculas desejadas (nas coordenadas *x*, *y* e *z*). Isso pode ser feito de duas formas: desenhando átomo a átomo, com a ferramenta “*Drawn-Tool*”, ou importando estruturas já conhecidas. A importação pode ser feita, a partir de estruturas em formato PDB, já disponíveis em outras bases de dados, como o *Nubbe*, repositório de dados de moléculas naturais do Brasil (disponível em: <https://nubbe.iq.unesp.br/portal/nubbe-search.html>, ou a partir do nome da molécula — nesse caso, o *Avogadro* converterá o nome da molécula em coordenadas espaciais, que podem ser visualizadas no programa.

Feito isto, é hora de exportar a molécula, para começar a preparação do processo de impressão. Primeiro, é muito importante observar se ligações, ângulos, diedros e outros elementos parecem adequados; caso contrário, é conveniente utilizar a ferramenta “*AutoOptimization*” para corrigir possíveis distorções nas estruturas. Finalmente, clique em “*Save as*” (Salvar como, em português) e escolha o formato “.mol2”, que preserva as informações das ligações duplas ou triplas das moléculas (Figura 7).

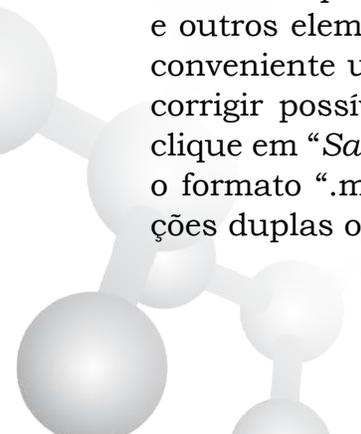
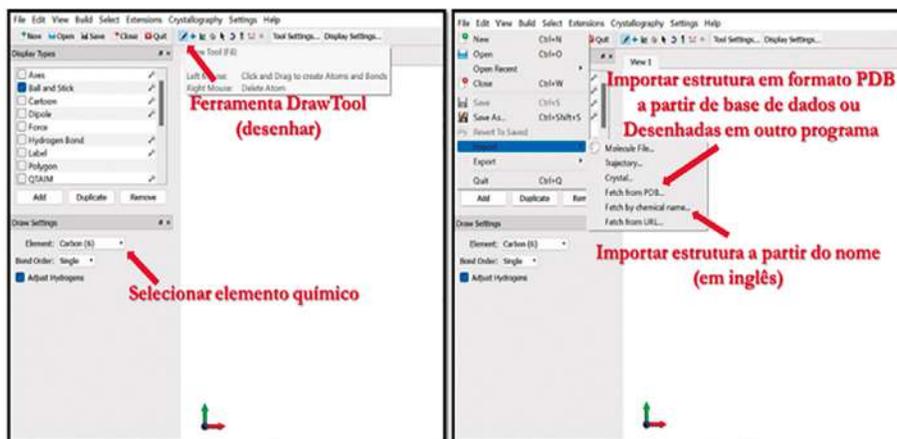


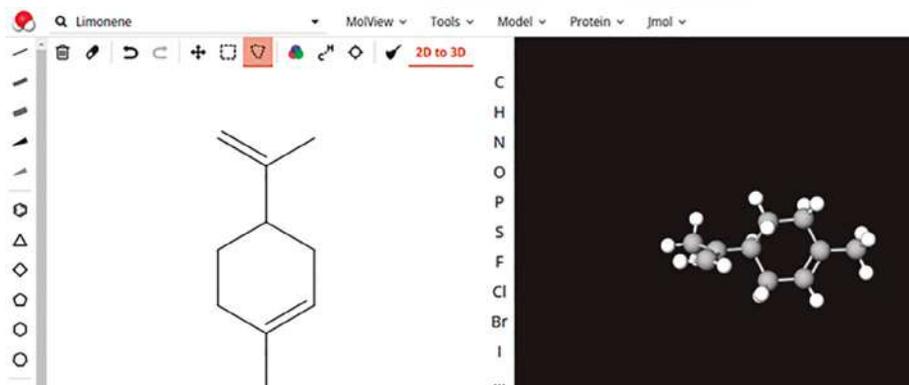
Figura 7 – Interface gráfica do programa Avogadro: obtenção de estruturas, a partir de ferramentas de desenho (à esquerda); e importação de estruturas de banco de dados ou a partir do nome químico (à direita)



Fonte: Lima e Souza (2022)

Uma alternativa ao programa *Avogadro*, proposta por Fonseca e Souza (2023) para a elaboração dos modelos, seria o *site MolView.com*, com o desenho tridimensional das estruturas, como se verifica na Figura 8.

Figura 8 – Interface do *site MolView.com*, com a estrutura do limoneno



Fonte: autores (2024)

Caso a molécula desenhada contenha ligações do tipo dupla ou tripla, deve-se utilizar o programa *OpenBabel* (Figura 9) para converter o arquivo, antes de abri-lo no *Blender*. Se houver apenas ligações simples no composto a ser impresso, pula-se esta etapa e siga adiante para observar como importar a molécula para o *Blender*. O ponto mais importante da etapa é o de selecionar a opção “Gerar coordenadas 3D”, para converter a molécula no formato mol2 para o PDB. Isso preserva as informações sobre ligações do tipo dupla ou tripla e permite o reconhecimento destes tipos de ligações no *Blender*.

Figura 9 – Interface do programa *OpenBabel*, mostrando como converter do formato mol2 para o PDB, preservando as informações de ligações múltiplas

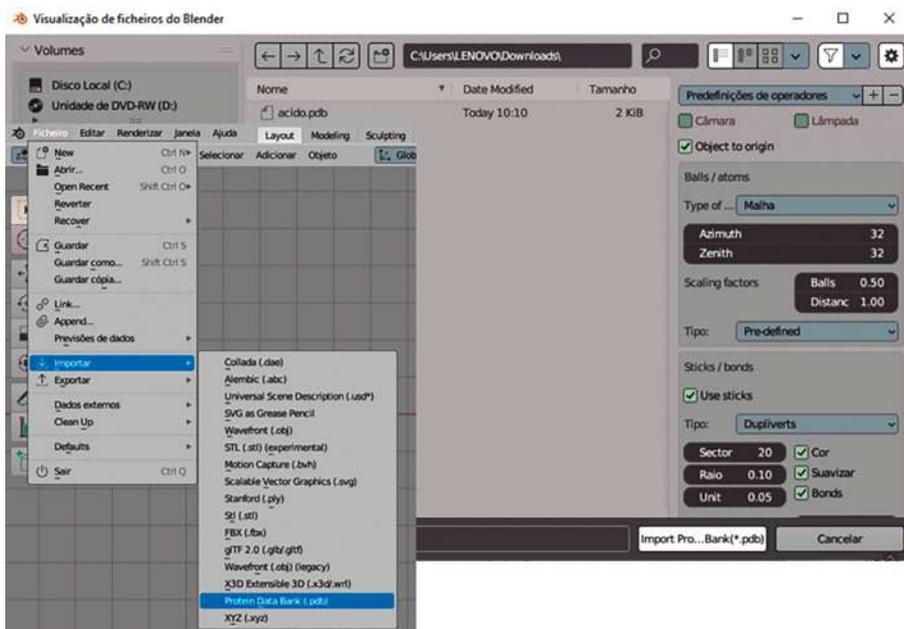


Fonte: Lima e Souza (2022)

A última etapa deste protocolo de modelagem estrutural se dá no programa *Blender* (Figura 10). O primeiro passo é se certificar de que o *add-on* “*AtomicBlender PDB/XYZ*” está ativado. Para isto, ao abrir o programa *Blender*, clique em *Edit/Preferences/Add-ons* e pesquise por “*Atomic Blender*”. Basta selecionar a opção que mos-

tra este *add-on*, que você estará apto a importar moléculas no formato PDB ou XYZ para o programa.

Figura 10: Telas do programa *Blender*: importação do arquivo no formato PDB (tela menor); e especificações ajustadas dos parâmetros de visualização (tela maior)



Fonte: Lima e Souza (2022)

Clique em *File/Import/Protein Data Bank* e selecione o arquivo de formato PDB, o que abrirá uma caixa de diálogo, em que se permite ajustar alguns parâmetros da molécula a ser importada — é possível testar variações destes parâmetros. Para os nossos objetivos, após algumas tentativas de combinações, optamos por manter o fator de escala em 0,5 para as bolas, enquanto o de distância permaneceu em 1,0. O modelo de bolas e varetas escolhido foi o do tipo “*Dupliverts*”, com os parâmetros: setor 20; raio 0,1; e unidade 0,05. Informações de cores, de suavidade e de ligações foram preservadas na importação. Para esclarecer melhor os ajustes que devem ser feitos, criamos um tutorial em vídeo, que mostra todo o processo.

ACESSE AQUI O VÍDEO TUTORIAL:



https://drive.google.com/file/d/1DnumTxmugE-VH_CJV-5gUyioS5h-lwxXv/view?usp=drivesdk

Com as moléculas desenhadas e com os parâmetros ajustados, é hora de exportar o arquivo no formato STL. Esse formato funciona como extensão de entrada para a grande maioria dos programas de impressão 3D. Nessa proposta, utilizamos o programa *Ultimaker Cura* (versão 4.8.0), um dos principais programas utilizados na impressão 3D. O *software* tem interface bastante amigável e é gratuito e de código aberto, ou seja, melhorias e ajustes podem ser feitos no programa, por toda a comunidade. Suas funções incluem realizar o fatiamento do objeto de impressão e definir parâmetros do material a ser impresso, como o tipo de plástico e o número de camadas, por exemplo. Na Figura 11, apresentamos a interface do *Ultimaker Cura*, juntamente de uma ilustração da impressora utilizada na proposta.

Figura 11 – Interface do programa *Ultimaker Cura* (no destaque, imagem ilustrativa da impressora Sethi S3, usada na função de impressão)



Fonte: Lima e Souza (2022)

PROPOSTAS DIDÁTICAS PARA O ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA



Proposta 1 - Uso de impressão 3D para o ensino de introdução à Química Orgânica a alunos com deficiência visual

A proposta didática em questão está sequenciada em três etapas, em que os princípios teóricos de Química Orgânica são abordados, sob a perspectiva de Klein (2017), que, através da resolução de uma variedade de problemas de maneira instigante, contribui para que os próprios estudantes construam seus processos de aprendizagem. A proposta apresenta as seguintes etapas (Figura 12):

Figura 12 – Etapas desta proposta didática



Fonte: Lima e Souza (2022)

Etapa 1 - Diagnose de aprendizagem

Com os objetivos de investigar e de compreender o processo de aprendizagem de conteúdos de Química Orgânica, por alunos com deficiência visual, sugere-se realizar uma entrevista ou questionário, em que se possa explorar as experiências dos alunos na perspectiva de um ensino inclusivo, incluindo seus referenciais percep-

tuais e suas trajetórias escolares. A seguir, apresentamos uma sugestão de roteiro de entrevista.

ACESSE O ROTEIRO DE ENTREVISTA:

https://docs.google.com/document/d/1D1K-zq-YjLRH-M9Q6vnaX0kq60_utv2gG/edit?usp=sharing&ouid=101322184636759745128&rtopof=true&sd=true



Etapa 2 - Aplicação da proposta didática

Essa etapa pode ser dividida em quatro aulas, contendo os seguintes objetivos de aprendizagem: 1) Conhecer histórico, propriedades e classificação do Carbono; 2) Ler e interpretar as representações de estruturas orgânicas; 3) Aplicar os conceitos de leitura e de interpretação das representações na classificação das cadeias carbônicas; e 4) Desenvolver princípios, relacionados às funções orgânicas, para identificar os principais grupos funcionais e as suas respectivas classes.

ACESSE O MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR

<https://drive.google.com/drive/folders/1awQLwLp9bw4xkOPGZIJCDuxmova-BID4c?usp=sharing>



Em cada aula, podem ser utilizadas estratégias de avaliação dos materiais utilizados, como interações tátil e auditiva, com representações em 3D e com audiodescrição. A audiodescrição oferece uma compreensão perceptiva do que está acontecendo a pessoas cegas ou com baixa visão. Dessa forma, você pode utilizar a audiodescrição como uma narração adicional, que

descreve sucintamente uma imagem de moléculas tridimensionais. Assim, estruturas químicas em 3D podem ser transformadas em conteúdo verbal, tornando o acesso às informações químicas contidas nos modelos 3D mais acessíveis a alunos com deficiência visual, aumentando suas habilidades visuoespaciais.

A proposta didática, conforme os planos de aula, está disponível no endereço a seguir:

**ACESSE O ROTEIRO DO PLANO
DE AULA**

<https://docs.google.com/document/d/1aTKuZu-JMHHZhZjwHDNeqSaaPqkBpNfh6/edit?usp=sharing&ouid=101322184636759745128&rt-pof=true&sd=true>



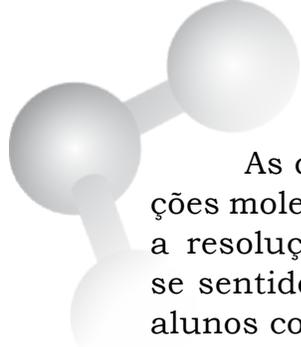
Etapa 3 - Avaliação da aprendizagem

Após as interações tátil e auditiva, com as representações químicas em 3D e com a audiodescrição, a cada aula, disponibiliza-se uma lista de questões, com o intuito de verificar como os alunos, a partir da leitura e da interpretação das estruturas em 3D, conseguem utilizar os princípios trabalhados, em cada nível, na resolução de problemas, para que pratiquem os conhecimentos fundamentais à aprendizagem da linguagem da Química Orgânica.

**ACESSE ARQUIVO COM SUGES-
TÃO DE PROBLEMA**

https://docs.google.com/document/d/1pbq_eOGXdFTHsWQbSZD-j13EpAmk30AP/edit?usp=sharing&ouid=101322184636759745128&rt-pof=true&sd=true



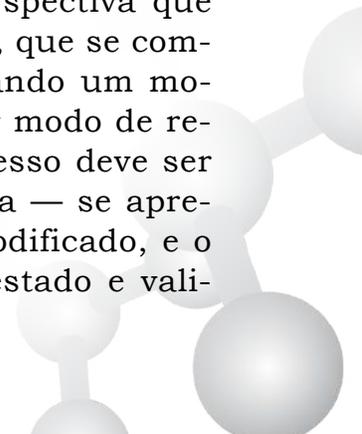


As questões elaboradas se utilizam de representações moleculares, recurso frequentemente utilizado para a resolução de problemas na Química Orgânica. Nesse sentido, destaca-se que, para adaptar as questões a alunos com deficiência visual, não precisamos deixar de utilizar as representações visuais, visto que são signos simbólicos da linguagem química, mas torná-las apreciáveis também aos sentidos do tato e da audição. Assim, com a mediação do professor, as estruturas em 3D, associadas à audiodescrição, são utilizadas em todos os problemas propostos, tornando-se um instrumento importante para que alunos cegos e de baixa visão consigam resolver questões de Química Orgânica de maneiras mais ativa e autônoma.

Proposta 2 - Uso de impressão 3D para o ensino de funções orgânicas

A proposta direcionada ao ensino de funções orgânicas tem o objetivo de contribuir para a diferenciação dos grupos funcionais presentes nos compostos, bem como suas respectivas nomenclaturas, levando em consideração a transição entre os níveis representacionais. Para isso, associada à utilização de impressão 3D, sugere-se o uso do ensino fundamentado em modelagem, ou seja, a elaboração de testes de modelos para explicar fenômenos. Nessa proposta, sugere-se a modelagem na perspectiva de Gilbert e Justi (2016).

Esses autores apresentam uma perspectiva que organiza a modelagem em quatro estágios, que se complementam. O processo se inicia, elaborando um modelo mental e o expressando em qualquer modo de representação. À sequência, o modelo expresso deve ser testado a fim de verificar sua abrangência — se apresentar falhas ou lacunas, ele deve ser modificado, e o processo, reiniciado. Por fim, após ser testado e vali-



dado, o modelo resultante deve ser socializado e suas limitações, consideradas.

A intervenção aqui apresentada está organizada em três etapas, que são descritas a seguir.

**ACESSE O MATERIAL DE
APOIO AO PROFESSOR**

<https://drive.google.com/drive/folders/1awQLwLp9bw4xkOPGZIJCDuxmovaBID4c?usp=sharing>



Etapa 1 - Elaboração e expressão de modelos mentais

Para nortear as atividades, sugere-se solicitar que os estudantes definam o conceito de funções orgânicas. A partir das ideias apresentadas, discussões devem ser mediadas, a fim de estimular a elaboração dos modelos iniciais e de explorar os conhecimentos que os estudantes já possuem. Após a elaboração do modelo inicial, uma sugestão é a de que seja utilizada uma questão norteadora, para que os estudantes expressem uma representação para cada grupo funcional.

Etapa 2 - Expressão e/ou reformulação do modelo

Essa etapa deve possibilitar a elaboração e/ou a reformulação de modelos mais consistentes, por meio de experimentos empíricos. Sugere-se organizar a turma em equipes, sendo que cada uma ficará responsável por um grupo funcional. As equipes deverão elaborar representações, de acordo com as nomenclaturas das funções, sob sua responsabilidade. Para subsidiar a atividade, sugere-se o uso da plataforma *Molview*, para auxiliar no processo de expressão/validação dos modelos. Os modelos expressos devem ser impressos em 3D, para posterior socialização entre todos os estudantes.

Etapa 3 - Avaliar o alcance do objetivo

Nessa etapa, deve haver a socialização dos modelos em 3D, que foram expressos na plataforma de modelagem. A ideia é a de que os modelos elaborados sejam apresentados, avaliados e validados entre os alunos de forma consensual. Para isso, deve-se procurar instigar os estudantes a verificar se os modelos expressos estão em similaridade com os impressos; se houve mudanças, deve-se questioná-los sobre estas alterações.

Também há a possibilidade de se trabalhar somente com a impressão 3D, dentro de uma perspectiva de exploração de representações táteis. Recomenda-se o uso desta possibilidade como forma de reforçar um conteúdo já estudado, pelos estudantes. Para este fim, pode-se trabalhar apenas com as etapas 2 e 3 da proposta aqui apresentada, dando ênfase à plataforma de modelagem *Molview* e aos modelos impressos em 3D.

ACESSE AS SUGESTÕES DE MATERIAIS PARA ESTA PROPOSTA

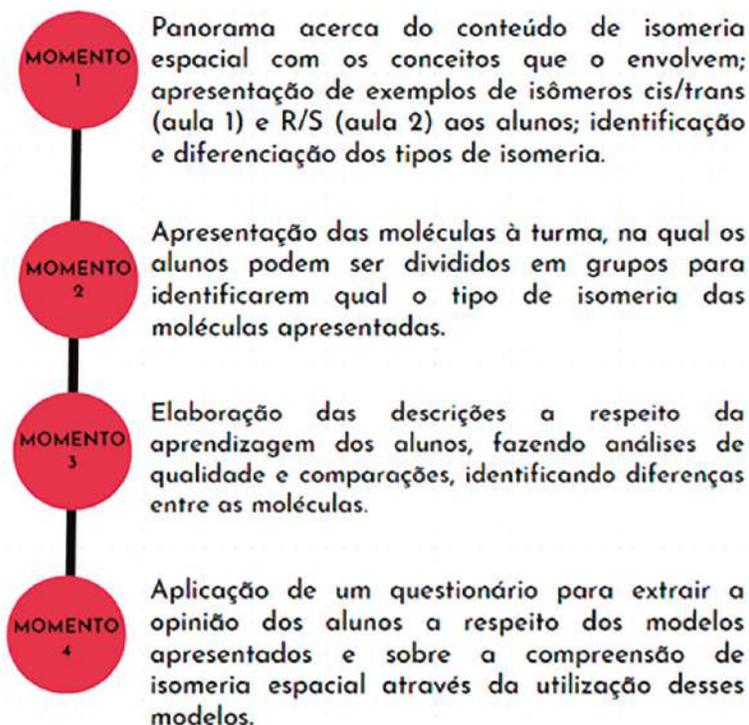
<https://drive.google.com/drive/folders/18CaHFv3VVsw8PEAKRhkiI5uCIw4gx-qni?usp=sharing>



Proposta 3 - Uso de impressão 3D para o ensino de isomeria

A proposta, apresentada na Figura 13, está sequenciada em quatro etapas e é referente à aplicação de modelos 3D em sala de aula, como recurso didático para o ensino de isomeria espacial.

Figura 13 – Proposta de aplicação de modelos 3D em sala de aula



Fonte: autores (2024)

Para tanto, a seguir, disponibilizamos uma sugestão de plano de aula, com os intuitos de organizar e de planejar como a intervenção pode ser desenvolvida. A aplicação da proposta pode ser realizada em duas aulas e em dias seguidos, com a mesma turma, definindo-se que, na primeira aula, o foco é na isomeria espacial geométrica cis/trans, e, na segunda aula, na isomeria espacial óptica R/S.

ACESSE O ROTEIRO DO PLANO DE AULA

<https://docs.google.com/document/d/1c-93jluQifXcU4hfZxPkb-jEZRWoLc8N6/edit?usp=sharing&oid=101322184636759745128&rt-pof=true&sd=true>



ACESSE O MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR

<https://drive.google.com/drive/folders/1awQLwLp9bw4xkOPGZIJCDuxmova-BID4c?usp=sharing>



Ainda para o ensino de isomeria, pode-se apoiar a proposta no Ensino Fundamentado em Modelagem, novamente, como apresentado na proposição de aprendizado de funções orgânicas. Aqui, apresenta-se a seguinte proposta, estruturada em três etapas, descritas a seguir.

Etapas 1 - Elaboração e expressão de modelos mentais

Nessa etapa, sugere-se o levantamento das concepções iniciais dos alunos sobre isomeria espacial, por meio da leitura de um texto de apoio, contendo exemplos da isomeria no cotidiano. Com base no texto, os alunos devem ser direcionados a elaborar modelos representacionais de suas concepções sobre enântiômetros e suas características.

Etapas 2 - Expressão e/ou reformulação do modelo

Nessa etapa, os alunos devem ter a possibilidade de expressar e/ou de reformular os modelos elaborados na etapa inicial. Para nortear a atividade, sugere-se que sejam solicitadas, aos alunos, por meio de questão norteadora, instruções para a elaboração de modelos para isômeros geométricos e ópticos. Com as instruções, os estudantes devem chegar a modelos para as características fornecidas.

Etapas 3 - Avaliar o alcance do objetivo

Após o momento de expressão, o docente deve apresentar modelos impressos em 3D, que representam os modelos solicitados aos estudantes. A ideia é a de que os

alunos possam, por meio da socialização de suas ideias, avaliar e validar os modelos elaborados e expressos por eles, de acordo com as representações apresentadas pelo docente. Após a avaliação das representações, o processo de modelagem deve ser reiniciado e novos modelos, elaborados, até que as limitações sejam menores.

ACESSE SUGESTÕES DE MATERIAIS PARA ESTA PROPOSTA

https://drive.google.com/drive/folders/1zmFw_XeBOsRgNnHtUSTnwheibSkUkc_X?usp=sharing

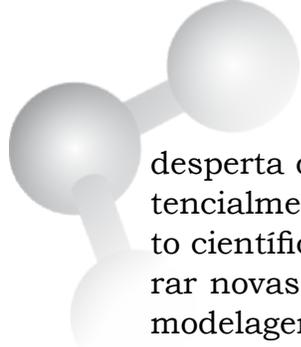


Essa proposta apresenta grandes potenciais metodológico e didático, tanto no âmbito do ensino de isomeria quanto no da Química em geral. No contexto das dificuldades enfrentadas por alunos e por docentes no ensino de Química, é importante encontrar possíveis soluções para amenizar os problemas, garantindo um melhor andamento no processo de ensino-aprendizagem desta ciência.

Embora a abordagem de isomeria espacial com modelos 3D seja relativamente nova, não deixa de ser importante e potencialmente eficiente, quando feita de maneiras lógica, integradora e articulada.

Com efeito, é necessário destacar algumas limitações, com relação à prática desta proposta. Na realidade amazônica, na qual estamos inseridos, é difícil encontrar, nos espaços formais e não-formais de ensino, aparelhos que permitam a realização deste exercício, afinal de contas se trata de um recurso de alto custo. Além disso, poucos trabalhos são publicados na área, o que dificulta as comparações e as aprendizagens, a partir de escritos já estabelecidos.

Entretanto, essa proposta deve ser vista com bons olhos, pois traz uma abordagem nova, integradora, que



desperta o interesse e a curiosidade dos alunos e que potencialmente pode favorecer à construção do conhecimento científico. Assim, esperamos que esta ação possa inspirar novas pesquisas e trabalhos, voltados à utilização da modelagem 3D, para que isto possa se tornar mais presente e frequente no ensino de Química.

Proposta 4 - Uso de impressão 3D para o ensino de reações orgânicas

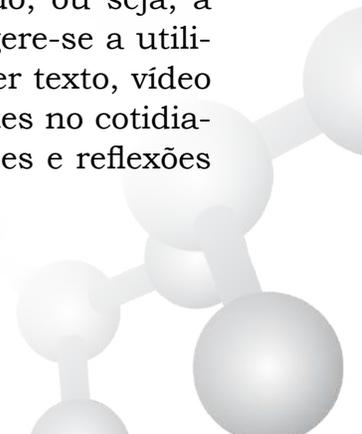
Visto que o conteúdo de reações orgânicas é considerado complexo, longo, e que necessita de uma base de conhecimentos para ser trabalhado, a proposta didática para este conteúdo está apoiada na perspectiva do Ensino Fundamentado em Modelagem e será apresentada de maneira genérica, a fim de que o professor possa adaptá-la, por exemplo, escolhendo qual reação será abordada. Sugere-se, para tanto, uma intervenção organizada em três etapas, a serem explicadas a seguir.

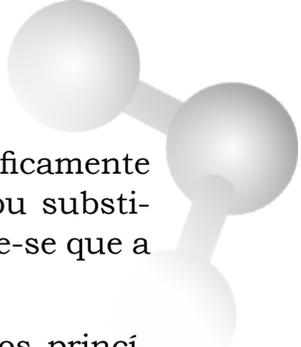
ACESSE MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR

<https://drive.google.com/drive/folders/1awQLwLp9bw4xkOPGZIJCDuxmovaBl-D4c?usp=sharing>



Etapa 1 - Essa etapa tem o objetivo de proporcionar, aos alunos, experiências com o objeto de estudo, ou seja, a temática “reações orgânicas”. Para isso, sugere-se a utilização de um material norteador, podendo ser texto, vídeo ou experimento, que aborde reações presentes no cotidiano dos alunos, a fim de direcionar discussões e reflexões acerca do assunto.





Etapa 2 - Nessa etapa, deve ser abordado especificamente o tipo de reação desejada (adição, eliminação ou substituição). Para um melhor desenvolvimento, sugere-se que a etapa seja organizada em momentos:

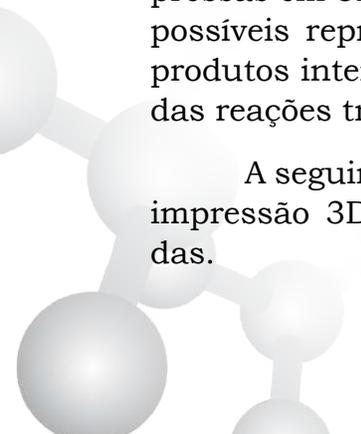
1º momento - Devem ser apresentados os princípios e as condições que regem o tipo de reação escolhida para ser trabalhada, procurando instigar os alunos a elaborar seus primeiros modelos mentais acerca do conteúdo;

2º momento - Sugere-se a exploração de questões abertas sobre o tipo de reação (em que se apresenta os reagentes e se pede os produtos), direcionando o estudo para os mecanismos envolvidos nos compostos, com isso os estudantes terão a oportunidade de expressar seus modelos mentais ou reformulá-los, caso necessário;

3º momento - Após a elaboração de modelos, utilizando as questões abertas, esses devem ser testados, por meio de programas ou *sites* de edição química, como *Molview* ou *KingDraw*. Ressalta-se, aqui, a sugestão de uso do *software KingDraw*, devido às variadas ferramentas de trabalho dos mecanismos de reação, inerentes ao estudo da temática.

Etapa 3 - Essa etapa deve ser destinada a novos testes e a validações dos modelos elaborados pelos estudantes. Para isso, sugere-se o uso de peças modulares (de encaixe) impressas em 3D. Com elas, os estudantes poderão explorar possíveis representações para os mecanismos e para os produtos intermediários, até conseguir representar o final das reações trabalhadas.

A seguir, disponibilizamos arquivos em formato para impressão 3D (.*stl*), utilizados nas propostas apresentadas.



**PROJETOS UTILIZADOS NA
PROPOSTA 1**

<https://drive.google.com/drive/folders/13L1rKjg1whe7qxAK2LPdj8iTHbT2ivu9>

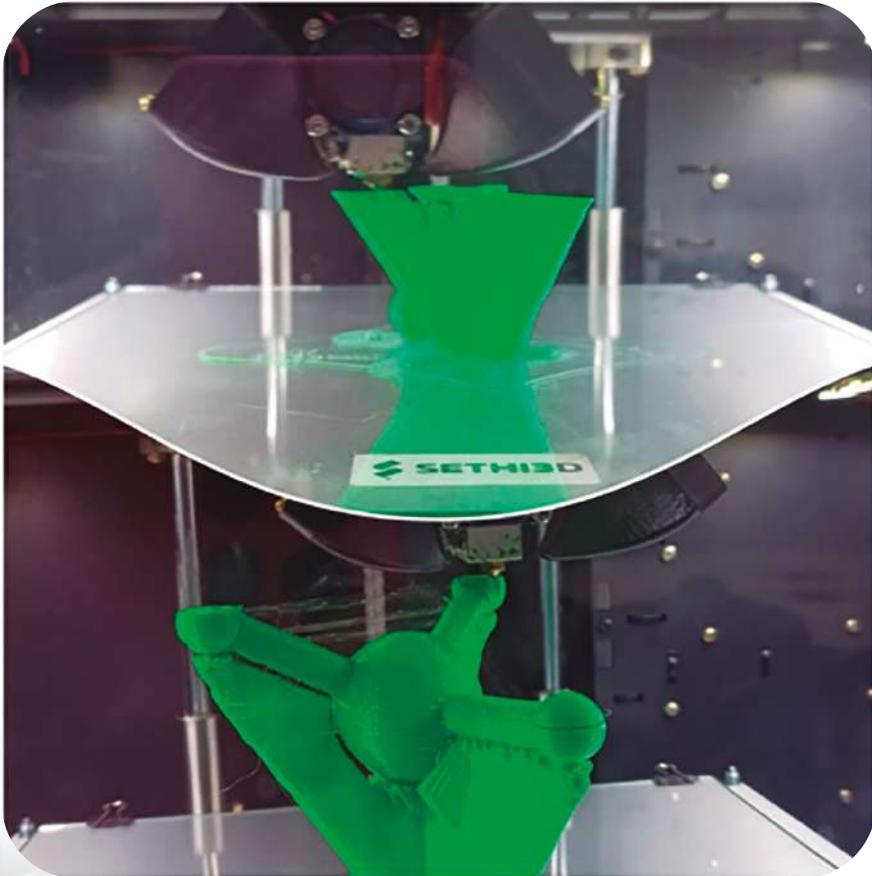


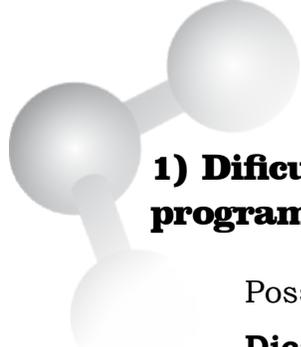
**PROJETOS UTILIZADOS NAS
PROPOSTAS 2,3 E 4**

https://drive.google.com/drive/folders/1VnHUKwnx9UkJh59CAOeM8__UZDqm-P5wb?usp=sharing



SOLUÇÕES DE POSSÍVEIS PROBLEMAS DE MODELAGEM E DE IMPRESSÃO EM 3D





1) Dificuldades na instalação e na execução dos programas

Possíveis soluções para o problema:

Dica 1: Verificar compatibilidade com o sistema operacional - Antes de baixar os programas, verifique se estes são compatíveis com o sistema operacional de seu computador (*Windows*, *Linux* ou *MacOS*);

Dica 2: Verificar as versões dos programas utilizados - Em caso de dificuldades em executar o passo-a-passo de maneira idêntica ao apresentado, verifique as versões dos programas e dos *add-ons*. Os autores não têm controle sobre possíveis atualizações, que possam alterar o processo. Se possível, instale as mesmas versões usadas no material original.

2) Ligações e ângulos não estão adequados no desenho e na modelagem das moléculas (Avogadro)

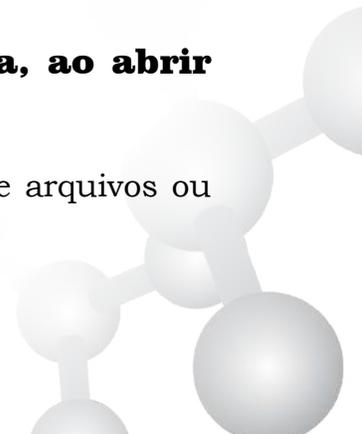
Possíveis soluções para o problema:

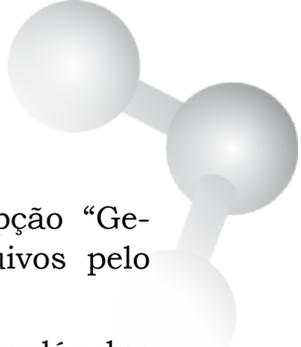
Dica 1: Utilize a ferramenta “*AutoOptimization*” para ajustar e para corrigir a geometria das moléculas;

Dica 2: Verifique visualmente as moléculas, para garantir que todas as ligações e os ângulos estão corretos, antes de exportar. Se desejar, utilize ferramentas para medir ângulos e distâncias de ligações.

3) Moléculas com estrutura errada, ao abrir os arquivos no Blender

Podem ocorrer falhas na conversão de arquivos ou na preservação das informações de ligações.





Possíveis soluções para o problema:

Dica 1: Certifique-se de selecionar a opção “Gerar coordenadas 3D”, ao converter arquivos pelo *OpenBabel*;

Dica 2: Realize conversões de teste com moléculas simples, para se familiarizar com o processo (usando compostos que não contêm ligações duplas ou triplas, por exemplo). Lembre-se: a opção “Gerar coordenadas 3D” do *OpenBabel* pode influenciar a configuração das ligações; verifique-as, após a conversão.

4) Dificuldades na importação de arquivos PDB ou nos ajustes das moléculas

Possíveis soluções para o problema:

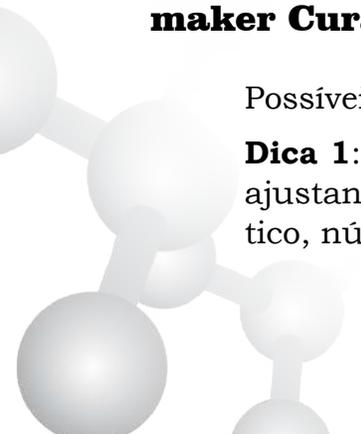
Dica 1: Verifique se o *add-on* “*AtomicBlender PDB/XYZ*” está ativado. Vá em *Edit/Preferences/Add-ons* e pesquise por “*Atomic Blender*”;

Dica 2: Realize ajustes nos tamanhos dos átomos para garantir diferenciação tátil. Nosso modelo foi criado com os tamanhos relativos de 2,0 cm para Carbono, de 1,6 cm para Nitrogênio, de 1,2 cm para Oxigênio e de 0,8 cm para Hidrogênio.

5) Impressões falham ou modelos 3D não são precisos - configuração e impressão 3D (Ulti-maker Cura)

Possíveis soluções para o problema:

Dica 1: Verifique a configuração da impressora 3D, ajustando os parâmetros de impressão tipo de plástico, número de camadas e temperatura;





Dica 2: Utilize a função “*Remesh*” com um *Voxel Size* de 0,01, para ajustar o entrelaçamento da malha, e verifique se a impressão está sólida/robusta; caso contrário, diminua ainda mais as malhas (alterando o *Voxel Size*, pela função “*Remesh*” do *Blender*);

Dica 3: Realize testes de impressão com pequenas estruturas, antes de iniciar a impressão final.

6) Modelos 3D são frágeis e quebram facilmente

Possíveis soluções para o problema:

Dica: Aumente a densidade de preenchimento (ex.: de 20% para 50%) e a espessura das paredes no *software* de impressão 3D.

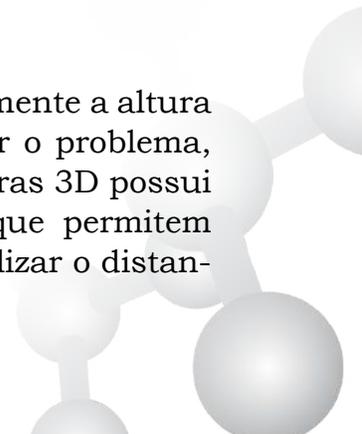
7) Falha de deposição de filamento

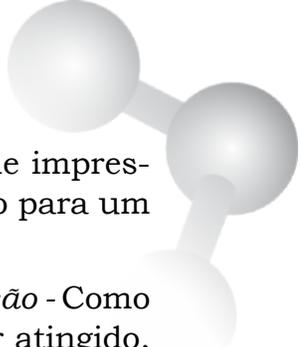
Apesar de o bico de impressão estar se movendo normalmente e de o filamento não estar em falta, nenhum filamento está sendo depositado na base de impressão.

Talvez, o bico de impressão possa estar muito próximo da mesa. Quando isto ocorre, é muito provável que o filamento derretido não tenha espaço para sair do bico. Nesse caso, a impressão ficará sem as primeiras camadas, o que ocasionará a não fixação da peça à mesa. Outra hipótese é o acúmulo de filamento no bico, causando o seu entupimento.

Possíveis soluções para o problema:

Dica 1: *Offset do eixo Z* - Elevar ligeiramente a altura do bico de impressão ajuda a resolver o problema, normalmente. A maioria das impressoras 3D possui sistemas próprios de configuração, que permitem configurar o *Offset* do eixo Z. Para realizar o distan-





ciamento do bico de impressão da mesa de impressão, é necessário que o *Offset* seja alterado para um valor positivo;

Dica 2: *Abaixe a altura da mesa de impressão* - Como alternativa, o mesmo resultado poderá ser atingido, ao abaixar a altura da mesa de impressão. No entanto, essa solução pode ser problemática, já que é necessário recalibrar o nível da mesa para que as impressões sejam uniformes.

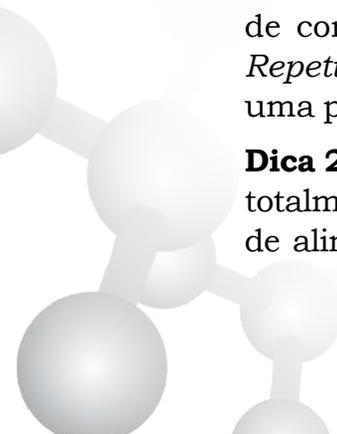
8) Bico de extrusão entupido

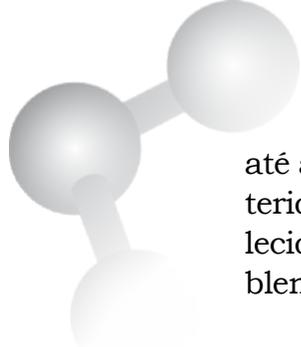
Durante a impressão, o filamento derretido não sai do bico, mesmo após tentativas de tirar e de recolocar o filamento. Após a troca de filamento, é comum que reste um pequeno pedaço no bico de impressão, bloqueando a passagem do novo filamento. Uma manutenção regular da impressora pode evitar entupimentos, que muitas vezes são causados por resíduos carbonizados no bico. Outra causa possível recai sobre as trocas frequentes de filamento, especialmente se houver resíduos anteriores no bico.

Possíveis soluções para o problema:

Dica 1: *Desentupa o bico com uma agulha* – Primeiro, deve-se remover o filamento; em seguida, deve-se selecionar a opção “Aquecer o bico de impressão” no painel de controle da impressora. Visto que nem todas as impressoras possuem este comando, é necessário conectá-la a um computador com um *software* de controle compatível (indicam-se o *Octoprint* e o *Repetier-Host*). Com o bico aquecido, pode-se utilizar uma pequena agulha para limpar o furo do extrusor;

Dica 2: *Extrusar o novo filamento* - Comece removendo totalmente o filamento em uso; depois, remova o tubo de alimentação do cabeçote. A seguir, aqueça o *bico*,





até a temperatura compatível com a do filamento; posteriormente, deve-se inserir um novo filamento e selecionar “Extrusar” no painel de controle. Caso o problema persista, será necessário desmontar o *Hot-end*.

9) Extrusão interrompida no meio da impressão

Esse problema pode estar associado a diversos fatores, desde a falta de alimentação de filamento, até problemas no bico de impressão.

Possíveis soluções para o problema:

Dica 1: *Verificação do filamento - É importante que seja verificado se há filamento suficiente para alimentar a impressora. Sugere-se, também, verificar a qualidade do filamento, observando se este se encontra quebradiço ou danificado. No caso destas eventualidades, é necessária a troca de filamento;*

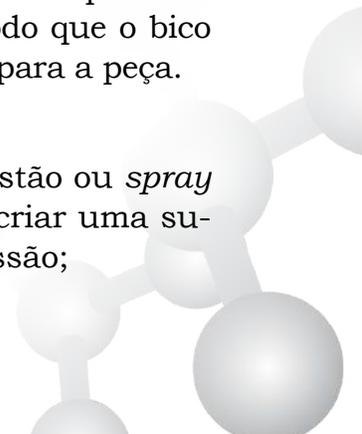
Dica 2: *Verificação do bico de impressão - No caso de não haver problema com o filamento, cheque o bico de impressão, pois este pode estar entupido. Para isso, siga as dicas do problema número 2, já citado aqui.*

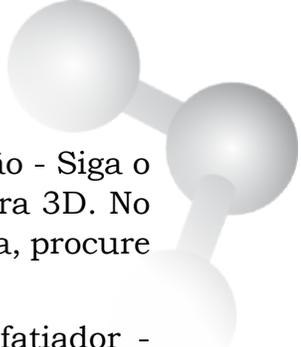
10) Peça soltando da mesa de impressão

Uma peça pode se soltar da mesa a qualquer momento, durante a impressão 3D. A causa mais comum é a falta de aderência à mesa, uma vez que o filamento precisa de uma superfície texturizada para aderir. A questão pode recair sobre o desnivelamento da mesa, de modo que o bico não consiga fazer uma boa primeira camada para a peça.

Possíveis soluções para o problema:

Dica 1: *Adicione textura - Use cola bastão ou *spray* fixador de silicone ou de cabelo para criar uma superfície texturizada na mesa de impressão;*





Dica 2: Nivele a mesa e o bico de impressão - Siga o processo de nivelamento da sua impressora 3D. No caso dela não possuir nivelção automática, procure ajustá-la manualmente.

Dica 3: Explore as ferramentas do seu fatiador - Configure o parâmetro “Aderência” para “Brim” ou “Raft” no seu fatiador, para aumentar o contato entre a peça e a mesa, ou insira suportes a suas peças.

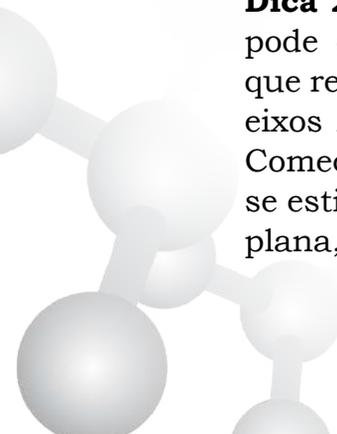
11) Camadas desalinhadas

Esse é um problema que afeta a qualidade da peça. Com o tempo, partes das impressoras 3D, como porcas, correias e parafusos, podem necessitar de ajustes, o que gera sobreposições desalinhadas de camadas.

Possíveis soluções para o problema:

Dica 1: Verificações de correias e de barras - As correias das impressoras são normalmente laços contínuos, em torno de duas polias. Um problema comum é o de que, com o tempo, a correia pode escorregar das polias e começar a ficar mais apertada na parte superior do que na inferior, causando desalinhamento das camadas. Avalie se todas as correias estão bem ajustadas, sem estar excessivamente apertadas. Se a parte superior da correia estiver mais apertada do que a inferior, é um sinal de que precisa de ajuste;

Dica 2: Verifique se há barras desalinhadas - Você pode diagnosticar isto, movendo o cabeçote (peça que reveste o bico de impressão) manualmente pelos eixos X e Y; se houver resistência, há algo errado. Comece verificando se as barras estão alinhadas e, se estiverem, remova-as e role-as em uma superfície plana, para detectar torções.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

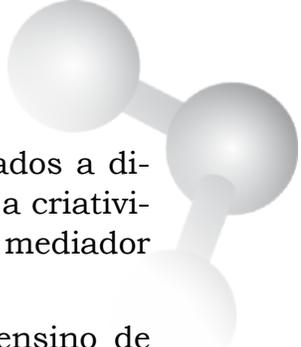
Considerando a importância de integrar a tecnologia ao ensino, é essencial que saibamos utilizar os recursos tecnológicos disponíveis de maneira eficaz. Na educação básica, a Química é frequentemente percebida, pelos alunos, como uma disciplina complexa, abstrata e distante da realidade cotidiana, bem como repleta de conceitos específicos e fórmulas desafiadoras.

Nesse trabalho, exploramos o uso da impressora 3D, com foco no ensino de conceitos fundamentais da Química Orgânica, como funções orgânicas, isomeria e reações químicas. A criação e a impressão de modelos tridimensionais emergem como recursos didáticos promissores, proporcionando representações palpáveis e manipuláveis de conceitos, que são tradicionalmente apresentados de maneira bidimensional nas aulas de Química Orgânica.

Para garantir a efetividade na elaboração e na impressão de modelos 3D, destacamos a importância de seguir um percurso metodológico rigoroso, conforme o descrito neste texto. O sucesso de uma impressão 3D está intrinsecamente ligado a um processo de trabalho bem estruturado e preciso.

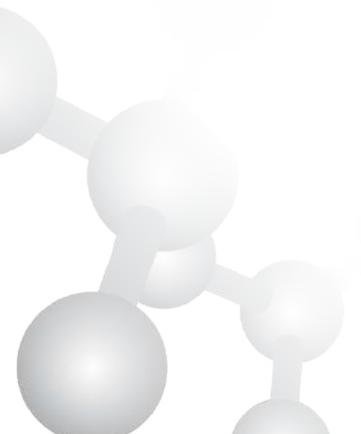
Além disso, é crucial que o professor de Química esteja disposto a se adaptar ao cenário tecnológico atual, superando a metodologia convencional e familiar. Ao integrar ferramentas digitais — com as quais os estudantes já estão profundamente familiarizados —, espera-se que os conteúdos das aulas de Química se tornem mais acessíveis e compreensíveis, promovendo maior interesse e participação mais ativa dos alunos.

Esperamos que este material contribua significativamente para a elaboração de práticas pedagógicas inovadoras no ensino de Química Orgânica e ressaltamos que



os recursos aqui trabalhados podem ser adaptados a diversos conteúdos e intencionalidades, conforme a criatividade e as necessidades do professor, enquanto mediador do processo educativo.

Esse material textual visa enriquecer o ensino de Química Orgânica e, também, inspirar uma transformação nas práticas pedagógicas, alinhado-as às demandas contemporâneas da Educação.



REFERÊNCIAS

AGUIAR, Leonardo de Conti Dias. **Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o ensino de ciências**. 2016. 226 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

BRUICE, Paula Yurkanis. **Química Orgânica**. Vol. 1. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

CHERY, Daphney; MBURU, Susan; WARD, Jessica; FONTECHIO, Adam. Integration of the arts and technology in GK-12 science courses. *In: IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE*, 2015. Anais [...]. [S. l.]: [s. n.], 2015. p. 1-4.

CORREIA, Maria Emanuella Amâncio; FREITAS, Juliano Rufino de; FREITAS, Jucleiton, José de; FREITAS FILHO, João de. Investigação do fenômeno de isomeria: concepções prévias dos estudantes do ensino médio e evolução conceitual. **Revista Ensaio**, v. 12, n. 2, p. 83-100, 2010.

FONSECA, Luiz Gabriel Araújo da. **Modelos moleculares usando a impressão 3d para o ensino de isomeria especial**. 2023. Monografia (Licenciatura em Química) – Universidade do Estado do Pará, Belém, 2023.

FORD, Simon; MINSHALL, Tim. Invited review article: where and how 3D printing is used in teaching and education. **Additive Manufacturing**, v. 25, p. 131-150, 2019.

HULL, Charles. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. U.S. Patent. US4575330 A. 1984.

IUPAC. Glossary of Terms Used in Computational Drug Design. **Pure & Appl. Chem.**, v. 69, n. 5, p. 1137-1152, 1997.

JOHNSTONE, Alex. Macro and microchemistry. **The School Science Review**, v. 64, n. 227, p. 377-379, 1982.

JONES, Oliver; SPENCER, Michelle. A simplified method for the 3D printing of molecular models for chemical ed-

ucation. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 1, p. 88-96, 2018.

KLEIN, David. **Química Orgânica**: uma aprendizagem baseada em solução de problemas. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

KODAMA, Hideo. Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photohardening polymer. **Review of Scientific Instruments**, v. 52, n. 11, p. 1770-1773, 1981.

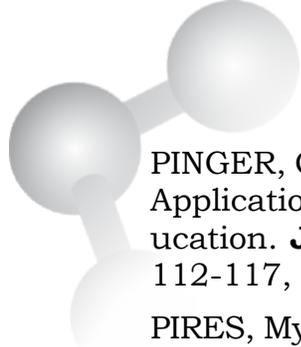
LIMA, Adriana Maria Queiroz da Silva. **Química orgânica para alunos com deficiência visual**: uma estratégia de aprendizagem combinando uso de modelos 3d e audiodescrição. Dissertação (Mestrado em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia) – Universidade do Estado do Pará, Belém, 2022.

LIMA, Adriana Maria Queiroz da Silva; FERREIRA, João Elias Vidueira; SOUZA, Ronilson Freitas de. Química orgânica para alunos com deficiência visual: uma estratégia de aprendizagem combinando uso de modelos 3D e audiodescrição. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 7, n. 2, p. 1-23, 2022.

LOUNNAS, Valère; WEDLER, Henry B.; NEWMAN, Timothy; SCHAFTENAAR, Gijs; HARRISON, Jason G.; NEPOMUCENO, Gabriella; PEMBERTON, Ryan; TANTILLO, Dean J.; VRIEND, Gert. Visually impaired researchers get their hands on quantum chemistry: application to a computational study on the isomerization of a sterol. **Journal of Computer-Aided Molecular Design**, v. 28, n. 11, p. 1057-1067, 2014.

PAVANELLI, Luciana da Conceição. **Química Orgânica**: funções e isomeria. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

PENNY, Matthew, R.; CAO, Zi Jing.; PATEL, Bhaven; SANTOS, Bruno Sil dos; ASQUITH, Christopher R. M.; SZULC, Blanka R.; RAO, Zenobia X.; MUWAFFAK, Zaid; MALKINSON, John P.; HILTON, Stephen T. Three-dimensional printing of a scalable molecular model and orbital kit for organic chemistry teaching and learning. **Journal of Chemical Education**, v. 94, n. 9, p. 1265-1271, 2017.



PINGER, Cody W.; GEIGER, Morgan K.; SPENCE, Dana M. Applications of 3D-Printing for Improving Chemistry Education. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 1, p. 112-117, 2020.

PIRES, Mylena Iasmim Figueiredo; VINHOLI JÚNIOR, Airton José. Impressão 3D e pesquisas em ciências da natureza: um olhar sobre a produção científica na área. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 5, n. 1, 2021.

PRINCE, Dale. 3D printing: an industrial revolution. **Journal of Electronic Resources in Medical Libraries**, v. 11, n. 1, p. 39-45, 2014.

RAMOS, Adriana de Farias; SERRANO, Agostinho. Modelagem Molecular no Ensino de Ciências: Uma revisão da literatura no Período 2001-2011 acerca da sua aplicabilidade em atividades de ensino. **Acta Scientiae**, v. 15, n. 2, p. 348-367, 2013.

RODRIGUES, Carlos Rangel. Modelagem Molecular. **Química Nova - Cadernos Temáticos**, n. 3, p. 43-49, 2001.

SANTANA, Leonardo; ALVES, Jorge Lino; NETTO SABINO, Aurélio da Costa; MERLINI, Cláudia. Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. e12267, 2018.

SANTOS, Wildson; MÓL, Gerson. **Química cidadã. Volume 3**: química: ensino médio, 3ª série. 3. ed. São Paulo: AJS, 2016.

STONE, Brian; KAY, Donovan; REYNOLDS, Antony; BROWN, Deana. 3D Printing and Service Learning: Accessible Open Educational Resources for Students with Visual Impairment. **International Journal of Teaching and Learning in Higher Education**, v. 32, n. 2, p. 336-346, 2020.

VOLPATO, Neri (org.). **Manufatura aditiva**: tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2017. 400 p.



ÍNDICE REMISSIVO

add-on.....	34, 35, 51, 52
bolas e bastões.....	23
estruturas químicas.....	25, 30, 31, 40
fatiamiento.....	14, 24, 26, 36
funções orgânicas.....	39, 41, 42, 45, 57
impressão 3d.....	14, 15, 16, 19, 20, 22, 26, 28, 30, 36, 38, 41, 43, 47, 48, 52, 53, 55, 57, 58, 60, 61
isomeria espacial.....	43, 44, 45, 46
isômeros.....	45
malha.....	23, 24, 53
mecanismos de reação.....	48
modelagem molecular.....	17, 19, 32, 60
modelos.....	14, 15, 17, 18, 19, 33, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 52, 53, 57, 58, 59
níveis de representação.....	18
parâmetros de impressão.....	22, 26, 30, 31, 52
proposta didática.....	38, 39, 40, 47
química orgânica.....	13, 16, 25, 37, 38, 40, 41, 57, 58, 59, 60
reações orgânicas.....	47
renderização.....	24, 32
representação tridimensional.....	17, 19



A COLEÇÃO EDUCAÇÃO & (COM) CIÊNCIA NA AMAZÔNIA faz parte do conjunto de ações do Programa de Pós-Graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia, da Universidade do Estado do Pará, para difusão das produções técnico-científicas de docentes, de discentes e de parceiros nacionais e/ou internacionais do programa, disponibilizando obras acadêmicas nas áreas de concentração Ensino, Aprendizagem e Formação de Professores de Ciências Naturais.

Em vista disto, a descrição do título desta coleção compreende a sistematização das experiências, resultantes de ações de ensino, de extensão e de pesquisa científica, que caracterizam o contexto educacional, a cultura regional e a biodiversidade amazônica, tratando a Ciência em suas perspectivas crítica e epistêmica na construção do saber científico.

Por conseguinte, as obras desta coleção podem ser de ações individuais, de grupos de pesquisas ou de eventos científicos, abrangendo as seguintes temáticas: atividades de ensino, de pesquisa e de extensão, com enfoque nos recursos e nos produtos naturais da Amazônia; metodologias ativas para a promoção da educação em Ciência; produtos educacionais contextualizados, adequados aos currículos escolares dos diferentes cenários socioambientais presentes na Amazônia; propostas didáticas que estimulem o caráter investigativo e a autonomia do(a) aluno(a), durante o processo de construção do conhecimento em Ciências Naturais, em espaços formais e não formais; metodologias com enfoque em Tecnologias de Informação e Comunicação em Educação em Ciências; estudos dos saberes docentes e das práticas reflexivas, no âmbito da atuação pedagógica de professores em espaços formais e não formais; e modelos e métodos de avaliação de aprendizagem, aplicados aos contextos educacionais da Amazônia.



GEPEECA
GRUPO DE ESTUDO E PESQUISA EM EDUCAÇÃO E
ENSINO DE CIÊNCIAS EM CONTEXTOS AMAZÔNICOS



PPG EECA UEPA
Programa de Pós-Graduação em
Educação e Ensino de Ciências
no Amazonas



CCSE
Centro de Ciências
e Pioneirismo do Pará
Universidade do Estado do Pará - UEPa



CCSE
UEPA



UEPA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ