



ACESSO ABERTO

Data de Recebimento:

12/07/2024

Data de Aceite:

02/09/2024

Data de Publicação:

17/09/2024

***Autor correspondente:**

Renato Massaharu Hassunuma,
Doutorado em Odontologia (área
de concentração Biologia Oral),
Rua Luís Levorato, 140 - Chá-
caras Bauruenses, Bauru - SP,
17048-290. Telefone de contato:
(14) 3312-7000. E-mail: rhassu-
numa@gmail.com.

Citação:

HASSUNUMA, R.M et al.
Chemtube3d: um recurso didáti-
co para o ensino de bioquímica
estrutural por meio de anima-
ções. **Revista Multidisciplinar
em Educação e Meio Ambien-
te**, v. 5, n. 3, 2024. [https://doi.
org/10.51161/integrar/rema/4424](https://doi.org/10.51161/integrar/rema/4424)

DOI: 10.51161/integrar/
rema/4424

Editora Integrar© 2024.

Todos os direitos reservados.

CHEMTUBE3D: UM RECURSO DIDÁTICO PARA O ENSINO DE BIOQUÍMICA ESTRUTURAL POR MEIO DE ANIMAÇÕES)

Julia Varavallo Ferrareze ^a, Renato Massaharu Hassunuma ^a, Patrícia Carvalho Garcia ^a, Sandra Heloisa Nunes Messias ^b.

^a Universidade Paulista, Câmpus Bauru. Rua Luís Levorato, 140 - Chácaras Bauruenses, Bauru - SP, 17048-290.

^b Universidade Paulista – UNIP, Câmpus Paraíso. Rua Vergueiro, 1211, 8º andar – Paraíso, São Paulo – SP, CEP: 01504-001.

RESUMO

Introdução: O ChemTube3D corresponde a uma biblioteca de animações na área de química, que utiliza o JSmol para simulação computacional de diferentes moléculas. É um recurso gratuito on-line disponível para navegadores de internet e que apresenta diferentes conceitos de química. **Objetivo:** Analisar animações relacionadas a conceitos de Bioquímica Estrutural, incluindo os relacionados à estrutura e função de proteínas, carboidratos, lipídios e ácidos nucleicos. **Material e métodos:** Foi realizada um levantamento de animações disponíveis no site ChemTube3D relacionados a conteúdos de Bioquímica Estrutural. As animações selecionadas foram analisadas, sendo desenvolvidas para cada uma delas, uma proposta didática de como a mesma pode ser aplicada em sala de aula. **Resultados:** Foram selecionadas sete animações que abordavam a estrutura e função de proteínas, carboidratos, lipídios e ácidos nucleicos. Para cada animação, foi proposta uma atividade contendo um tema a ser trabalhado, uma descrição da atividade sugerida e uma discussão da resolução da atividade proposta. **Conclusões:** O ChemTube3D apresentou diversas animações de biomoléculas que podem ser amplamente utilizadas em aulas de Bioquímica Estrutural. Espera-se que futuras atualizações do site e do JSmol permitam o desenvolvimento de novas animações e personalizações.

Palavras chaves: Bioquímica. Animação. Materiais de ensino.

ABSTRACT

Introduction: ChemTube3D corresponds to a library of animations in the chemistry area, which uses JSmol for computational simulation of different molecules. It is a free online resource available for internet browsers that presents different chemistry concepts. **Objective:** Analyze animations related to Structural Biochemistry concepts, including those related to the structure and function of proteins, carbohydrates, lipids and nucleic acids. **Material and methods:** A survey of animations available on the ChemTube3D website related to Structural Biochemistry content was carried out. The selected animations were analyzed, and a didactic proposal was developed for each of

them on how it can be applied in the classroom. Results: Seven animations were selected that addressed the structure and function of proteins, carbohydrates, lipids and nucleic acids. For each animation, an activity was proposed containing a topic to be worked on, a description of the suggested activity and a discussion of the resolution of the proposed activity. **Conclusions:** ChemTube3D presented several animations of biomolecules that can be widely used in Structural Biochemistry classes. It is expected that future updates to the website and JSmol will allow the development of new animations and customizations.

Keywords: Biochemistry. Animation. Teaching materials.

1 INTRODUÇÃO

O ChemTube3D é um recurso educacional gratuito aberto ao público desde janeiro de 2008, sendo disponível no link: www.chemtube3d.com e também no formato de aplicativo para iOS e Android. O ChemTube 3D foi desenvolvido pela University of Liverpool e apresenta estruturas e animações tridimensionais interativas de diferentes estruturas químicas (GREEVES, 2024).

As animações do ChemTube3D utilizam o software JSmol, um programa computacional gratuito de código aberto para visualização molecular interativa. Devido ao fato de ter sido desenvolvido em linguagem de programação JavaScript, o mesmo é compatível com todos sistemas operacionais e na forma de miniaplicativo compatível com a maioria dos navegadores disponíveis atualmente, incluindo para aparelhos e computadores com os sistemas operacionais iOS e macOS (HANSON et al., 2013).

Estudos indicam que as animações utilizadas em sala de aula podem aumentar o interesse dos alunos pela aprendizagem, resultando em uma melhora no desempenho acadêmico e na capacidade de aprendizagem autônoma (DING et al., 2023). Além disso, as animações podem tornar o ensino mais agradável, envolvente e úteis na visualização de estruturas e processos complexos. Além disso, se disponibilizado na internet, permite que o aluno possa reassistir quantas vezes desejar, incluindo no estudo digital em casa, funcionando como uma ferramenta suplementar que pode aumentar o conhecimento dos alunos (O'CONNOR et al., 2023).

LEE, NG e CHEN (2024) sugerem que as animações, como recurso didático, também sejam utilizadas pelos alunos antes de uma aula. Embora resulte em uma menor aquisição de conhecimento inicial, esta estratégia permite que os estudantes adquiram conceitos básicos prévios sobre um determinado assunto, tornando mais fácil o aprendizado posterior de conhecimentos mais profundos em sala de aula.

Embora as animações de biomoléculas apresentem inúmeras vantagens didáticas em relação às imagens bidimensionais estáticas, é importante que sejam compreendidas as características do design da estrutura e as possibilidades de diferentes modalidades de exibição para que se possa proporcionar uma experiência didática mais impactante (JENKINSON, 2018).

Assim, o objetivo principal desta pesquisa é realizar um levantamento de animações disponíveis no ChemTube3D e propor algumas sugestões didáticas de como elas podem ser aplicadas em sala de aula no ensino de conteúdos referentes à Bioquímica Estrutural.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no período de março a julho de 2024, com abordagem qualitativa a partir da coleta de informações bibliográficas e disponíveis no site ChemTube3D, sendo caracterizada como uma pesquisa bibliográfica, com objetivo exploratório e de natureza básica, visando analisar e apresentar

propostas didáticas para utilização de animações disponíveis no site para ensino de Bioquímica Estrutural.

Inicialmente foi proposto como tema “as animações disponíveis no site ChemTube3D relacionados aos conteúdos de Bioquímica Estrutural”. Em seguida, foi estabelecida como questão de pesquisa: “Como as animações do ChemTube3D podem ser aplicadas no ensino dos conteúdos de Bioquímica Estrutural?”.

Foi realizada uma busca de os descritores no DeCS/MesH – Descritores em Ciências da Saúde/ Medical Subject Headings (Mesh Terms), sendo usados como palavras-chaves os seguintes termos “Bioquímica” (Biochemistry), “Animação” (Animation) e “Materiais de ensino” (Teaching materials). Os termos Bioquímica Estrutural (Structural biochemistry) e ChemTube3D também usados para realização do levantamento bibliográfico não foram encontrados no DeCS/MesH.

Por fim, foram analisados os recursos disponíveis no site ChemTube3D e realizado um levantamento das animações relacionadas com os conteúdos de Bioquímica Estrutural, ou seja, que abordavam a estrutura de proteínas, carboidratos, lipídeos e ácidos nucleicos. Os textos das páginas das animações escolhidas foram traduzidos e analisados. Para cada animação foi proposto uma atividade didática como sugestão de como o professor pode aplicar o material em sala de aula no ensino de Bioquímica Estrutural.

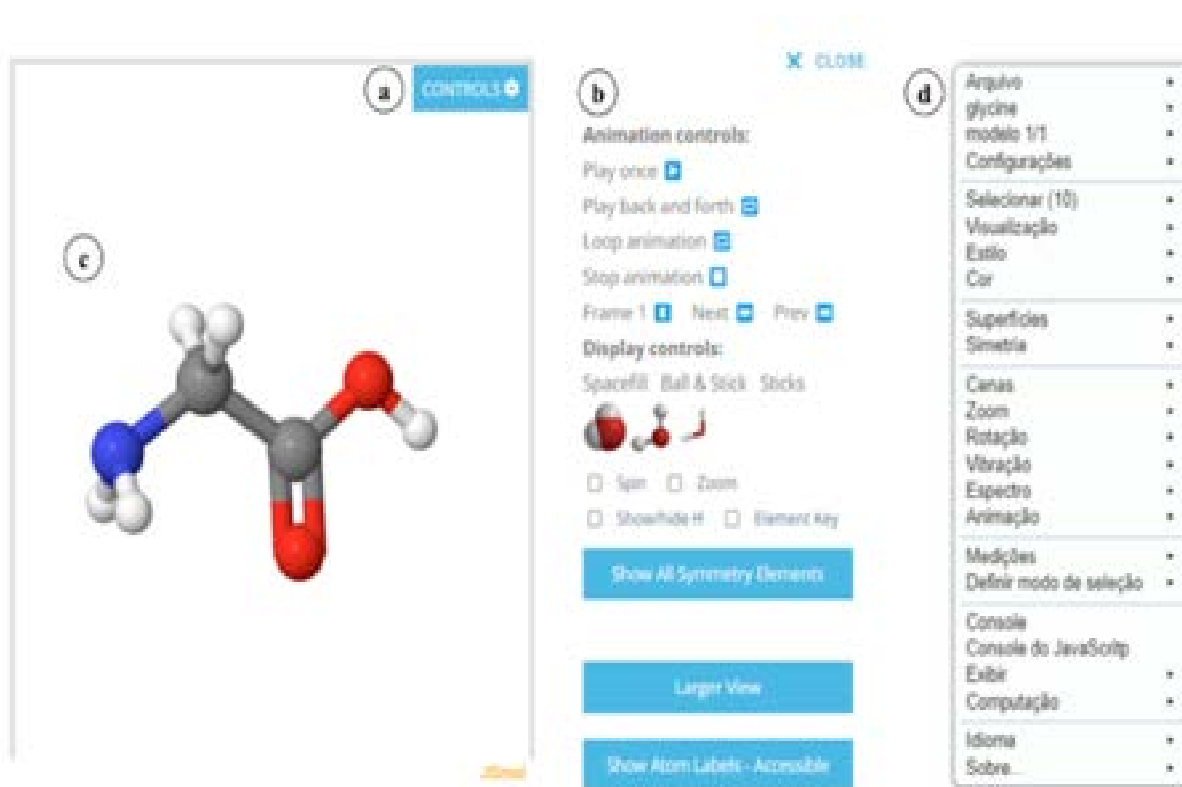
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de utilizar o ChemTube3D em sala de aula, é importante que o professor conheça os recursos disponíveis do programa para que possa apresentar devidamente, bem como explorar todos os seus comandos. Desta forma, estão apresentados a seguir os principais controles de animação do software.

3.1 Controles de animação do ChemTube3D

As animações disponíveis no ChemTube3D podem ser modificadas por meio de dois controles diferentes (Figura 1): o primeiro é por meio do botão Controls, disponível no canto superior direito da área de trabalho do JSmol (a) o qual permite acesso aos controles de animação do ChemTube3D (b); o segundo é por meio de um clique com o botão direito do mouse na área de trabalho do JSmol (c), que permite o acesso aos recursos do próprio JSmol (d).

Figura 1 - Controles do ChemTube3D



Fonte: GREEVES, 2024.

Devido a fato de o objetivo da atual pesquisa ser a aplicação do ChemTube3D no ensino de Bioquímica Estrutural, serão explorados apenas os recursos do Menu Controls. As funções deste menu estão sumarizadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Menu Controls

Comando	Comando traduzido	Função
Animation controls	Controles de animação	Apresenta os controles de animação
Play once	Reproduzir uma vez	Reproduz a animação uma vez e retrocede a animação no sentido inverso
Play back and forth	Reproduzir para frente e para trás	Reproduz a animação uma vez e retrocede a animação no sentido inverso
Loop animation	Animação em repetição	Reproduz a animação em repetição
Stop animation	Parar animação	Para a animação
Frame 1	Quadro 1	Retorna a animação para o primeiro quadro
Next	Próximo	Avança a animação para o próximo quadro
Prev	Anterior	Retorna a animação para o quadro anterior

Display controls	Controles de exibição	Apresenta diferentes formas de exibição da(s) molécula(s) apresentadas
Spacefill	Preenchimento de espaço	Representa os átomos da molécula na forma de esferas
Ball & stick	Bola e varetas	Representa os átomos na forma de esferas e as ligações químicas como varetas
Sticks	Varetas	Representa os átomos como varetas
Spin	Rodar	Ativa a função de girar a(s) molécula(s) no eixo y
Zoom	Ampliar	Amplia a imagem exibida
Show/hide H	Mostrar/esconder H	Permite exibir ou não os átomos de hidrogênio
Element key	Botão de elemento	Indica os elementos químicos apresentados na animação
Show all symmetry elements	Mostrar todos os elementos de simetria	Exibe moléculas simétricas
Larger view	Visão ampliada	Abre o programa JSmol em nova janela em tela cheia
Show atom labels - accessible	Exibir símbolos dos átomos - acessível	Mostra as abreviaturas dos nomes dos átomos exibidos

Fonte: GREEVES, 2024.

3.2 Levantamento de animações do ChemTube3D

Inicialmente foi realizado um levantamento das animações disponíveis no ChemTube3D, sendo selecionadas sete animações, cujos conteúdos podem ser aplicados em atividades da Disciplina de Bioquímica Estrutural (Quadro 1).

Quadro 2 - Animações selecionadas

Animação selecionada	Título traduzido	Conteúdo abordado	Link
Introductory structures: selected amino acids	Estruturas introdutórias: aminoácidos selecionados	Estrutura dos aminoácidos	www.chemtube3d.com/claydenaminoacids/
Framework model of protein folding	Modelo de estrutura de dobramento de proteínas	Dobramento de proteínas	www.chemtube3d.com/proteinframe/
Structure of endonuclease II	Estrutura da endonuclease II	Estrutura de uma enzima	www.chemtube3d.com/bc-26-7-32/
Introductory structures: Sucrose	Estruturas introdutórias: sacarose	Estrutura de carboidratos	www.chemtube3d.com/claydensucrose/

Introductory structures linoleic acid X-ray structure	Estruturas introdutórias: estrutura do ácido linoleico determinada por raios X	Estrutura de lipídios	www.chemtube3d.com/claydenlinoleic/
DNA/RNA Base Pairs	Pares de bases de DNA e RNA	Estrutura de ácidos nucleicos	www.chemtube3d.com/dnabases-2/
Coordination of Pt causes bending of the DNA helix	Coordenação da cisplatina causa curvatura da hélice do DNA	Estrutura de ácidos nucleicos	www.chemtube3d.com/bc-27-3/

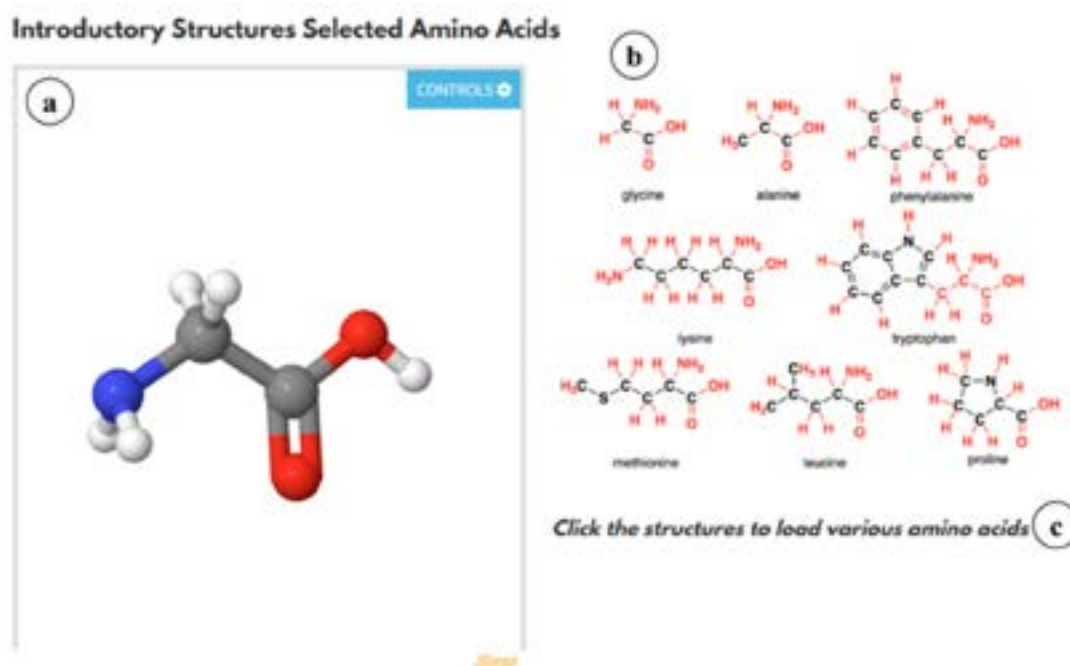
Fonte: GREEVES, 2024.

A seguir, serão apresentadas cada uma das animações mencionadas no Quadro 2, sendo também propostas atividades exemplificando como o professor pode utilizar este recurso didático no ensino de Bioquímica Estrutural.

3.3 Animação Introductory structures: selected amino acids

A animação Introductory structures: selected amino acids (Estruturas introdutórias: aminoácidos selecionados) (Figura 2) apresenta oito aminoácidos diferentes (glicina, alanina, fenilalanina, lisina, triptofano, metionina, leucina e prolina), cujas estruturas podem ser observadas na área de trabalho do JSmol (a). Para exibir cada um dos aminoácidos no JSmol, basta clicar nas estruturas químicas dos aminoácidos (b), conforme a orientação apresentada (c). Os átomos de cada aminoácido estão representados no modelo bola e varetas e no modo de cor CPK.

Figura 2 - Animação Introductory structures: selected amino acids



Fonte: GREEVES, 2024

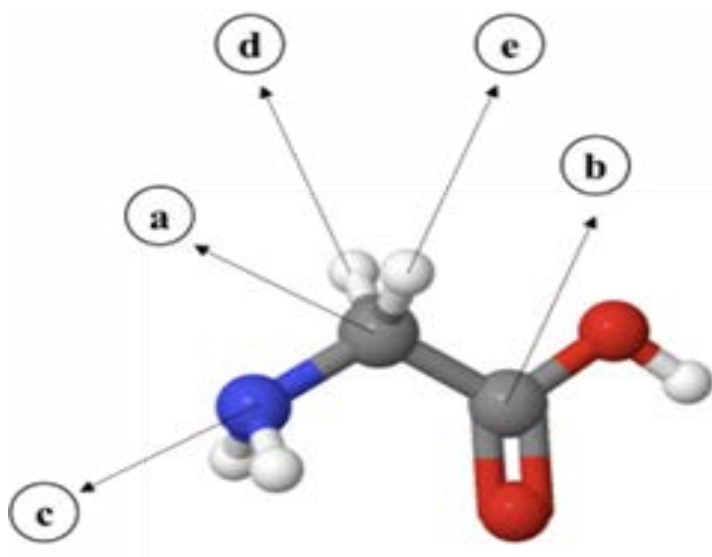
3.3.1 Sugestão de atividade para a animação **Introductory structures: selected amino acids**

a) Tema da atividade: Estrutura de proteínas

b) Atividade sugerida: Sabendo que cada aminoácido é constituído por um carbono central ou alfa, um grupo carboxila ácido (COOH), um grupo amino básico (NH₂), um átomo de hidrogênio e uma cadeia lateral, identifique em cada aminoácido cada um de seus componentes.

c) Resolução da atividade: Um exemplo de resolução desta atividade está apresentado na Figura 3, onde estão indicados: (a) carbono central ou alfa, (b) grupo carboxila ácido (COOH), (c) grupo amino básico (NH₂), (d) átomo de hidrogênio e (e) cadeia lateral representada por um átomo de hidrogênio no caso da glicina.

Figura 3 – Resolução da atividade



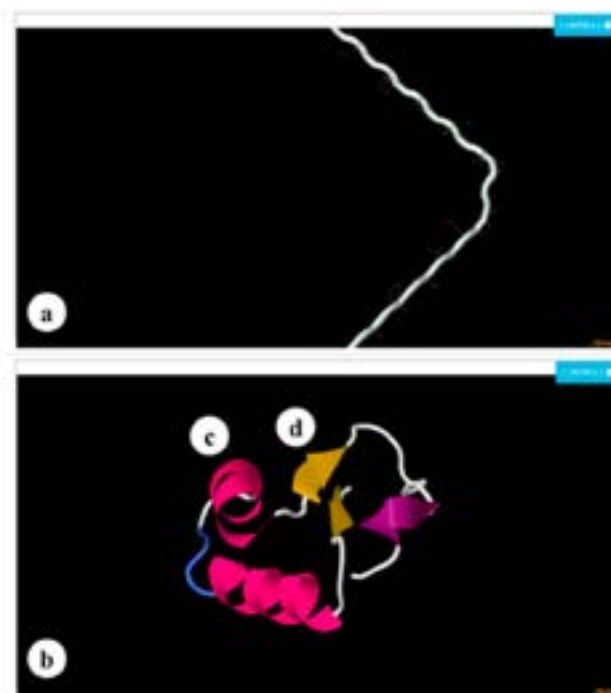
Fonte: GREEVES, 2024.

3.4 Animação **Framework Model of Protein Folding**

Na animação **Framework Model of Protein Folding** (Modelo de estrutura de dobramento de proteínas) (Figura 4), é utilizado o arquivo PDB 1CRN (HENDRICKSON; TEETER, 1981) o qual é utilizado para observar como ocorre o dobramento da proteína crambina, presente na semente da crambia, uma planta oleaginosa que produz um óleo que pode ser utilizado, por exemplo, para fins industriais (Pushkarova; Yemets, 2022). Inicialmente é apresentada a proteína de forma desdobrada (a) e posteriormente a mesma já dobrada (b), mostrando os níveis estruturais secundários formados por 3 alfa-hélices (c) representadas

como espirais em magenta e duas fitas beta (d) como setas amarelas. Para disparar a animação, basta o usuário clicar nas setas pretas que se encontram logo abaixo da área de trabalho da animação.

Figura 4 - Animação Framework Model of Protein Folding



Fonte: GREEVES, 2024.

3.4.1 Sugestão de atividade para a animação Framework Model of Protein Folding

a) Tema da atividade: Dobramento de proteínas

b) Atividade sugerida: Sabendo que o dobramento proteico leva à formação de alfa-hélices e fitas beta, pesquise que tipo de ligações químicas ocorrem durante o dobramento da proteína para formação destes dois tipos de estrutura secundária de proteínas.

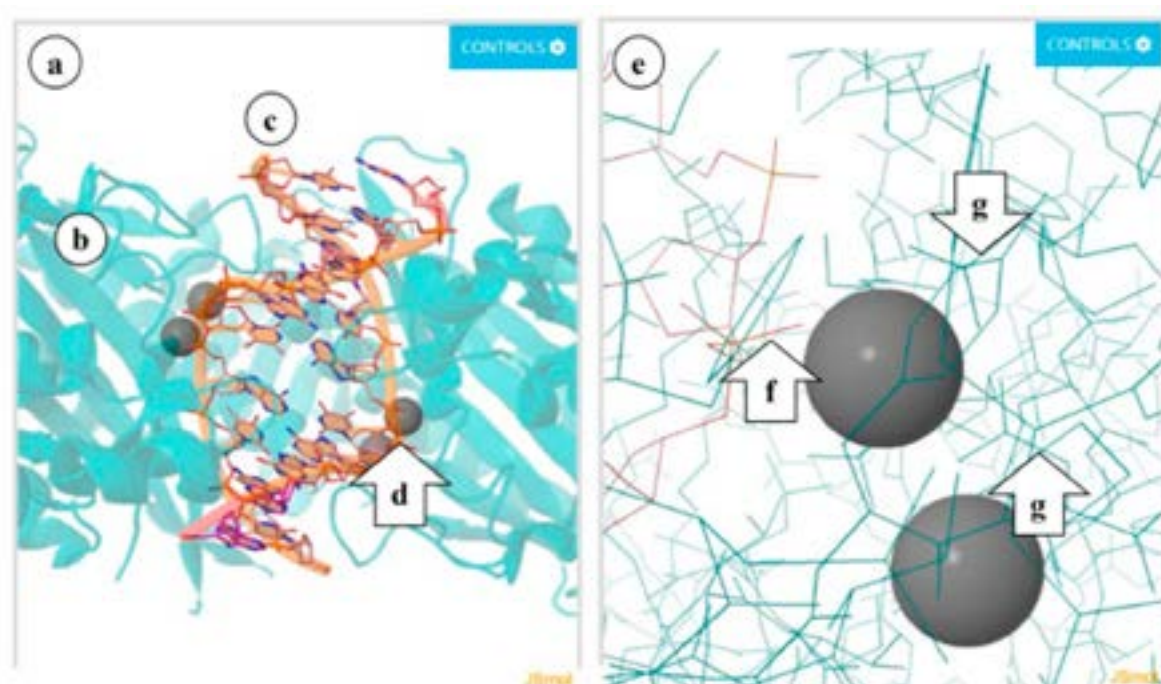
c) Resolução da atividade: Durante a atividade, o professor pode orientar que alunos realizem a busca de informações em livros na biblioteca ou em sites da internet. No caso da alfa-hélice, a estrutura em espiral é estabilizada por ligações de hidrogênio paralelas ao eixo da hélice no interior de uma única cadeia polipeptídica. Contando a partir da extremidade N-terminal, o grupo C=O de cada resíduo de aminoácido se une por ligação de hidrogênio ao N-H do aminoácido colocado a quatro resíduos de distância adiante na sequência linear da proteína. Já no caso da folha beta, as ligações de hidrogênio podem ser intracadeia, quando são formadas entre diferentes partes de uma mesma cadeia dobrada sobre si ou intercadeira, quando se formam entre diferentes cadeias (HASSUNUMA; GARCIA; MESSIAS, 2018).

3.5 Animação Structure of Endonuclease II

Na animação Structure of Endonuclease II (Estrutura da endonuclease II) (Figura 5), inicialmente (a) é apresentada a enzima endonuclease II (b) no modo Cartoons em um tom de azul esverdeado translúcido, seu substrato que corresponde a um trecho de uma molécula de DNA (c) e quatro íons magnésio (d) que atuam como cofatores para esta reação enzimática. O sítio ativo da enzima pode ser localizado e ampliado (e) utilizando o botão Show Active Site (Mostre o sítio ativo) localizado logo abaixo da área de trabalho da animação.

O grupamento fosfato (f) e os dois resíduos de ácido aspártico (g) que se ligam ao átomo de magnésio (g) podem ser facilmente observados desabilitando o modo de exibição Cartoons e habilitando o modo de exibição Wireframe, utilizando os botões de mesmo nome que se encontram logo abaixo da animação.

Figura 5 - Animação Structure of Endonuclease II



Fonte: GREEVES, 2024.

3.5.1 Sugestão de atividade para a animação Structure of Endonuclease II

a) Tema da atividade: Atividade de uma enzima

b) Atividade sugerida: Observe que na animação apresentada é possível observar a interação que ocorre entre uma enzima (endonuclease II) e seu substrato (o trecho da molécula de DNA). Explique o conceito de cofator e a importância dos quatro átomos de magnésio nesta ligação química.

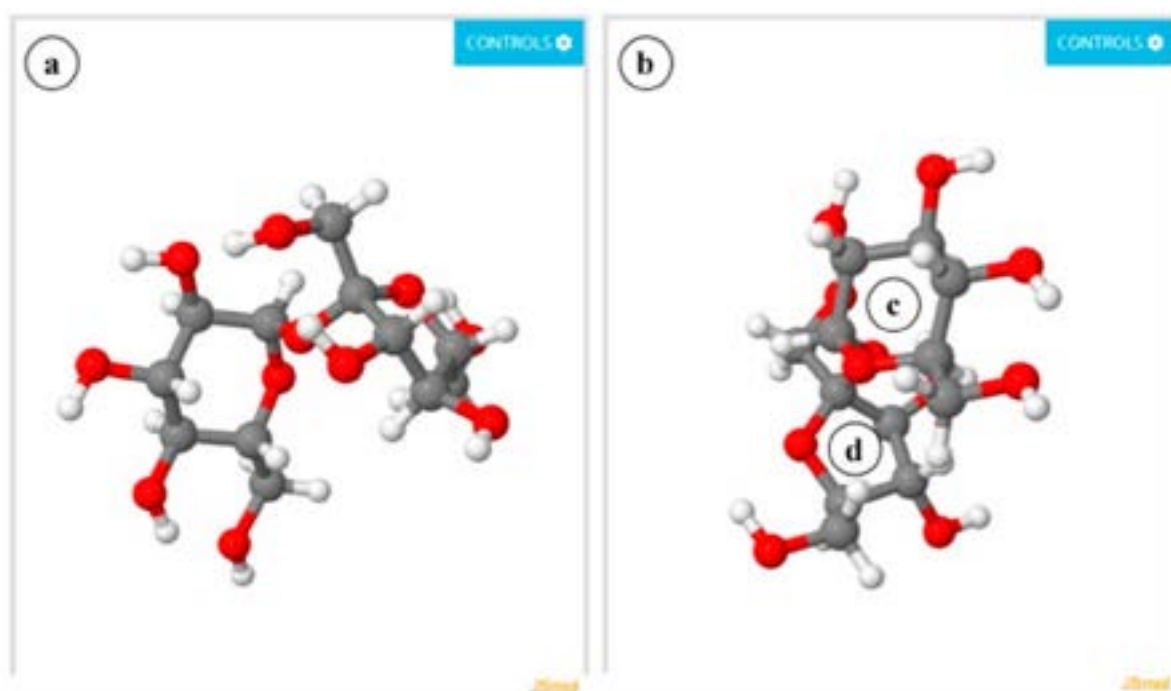
c) Resolução da atividade: Em sala de aula, o professor pode sugerir que alunos realizem a pesquisa em livros e sites. Na animação apresentada, os quatro átomos de magnésio (que poderiam também ser quatro átomos de manganês) atuam como cofatores, ou seja, íons necessários ao funcionamento da enzima. Os cofatores também podem ser moléculas orgânicas ou inorgânicas; e caso a molécula seja orgânica o

cofator é denominado coenzima. As endonucleases, também conhecidas como enzimas de restrição, estão presentes em bactérias, sendo importantes na defesa imunológica bacteriana uma vez que são capazes de destruir DNAs virais invasores. Analisando a animação é possível observar que o átomo de magnésico estabelece ligação química com o grupamento fosfato do DNA e com os resíduos de ácido aspártico da endonuclease II, assim a sua presença como cofator é essencial para que a reação enzimática ocorra (DAS; BANERJEE; GANGOPADHYAY, 2021).

3.6 Animação Introductory Structures: Sucrose

Na animação Introductory Structures: Sucrose (Estruturas introdutórias: sacarose) (Figura 6), mostra a estrutura de uma molécula de sacarose (a). Nesta atividade, o usuário é convidado a mover a estrutura para mover a molécula de sacarose em uma nova posição (b) de forma a observar claramente os dois anéis da molécula (c e d). A movimentação da molécula é realizada clicando com o botão esquerdo do mouse e arrastando o mouse.

Figura 6 - Animação Introductory Structures: Sucrose



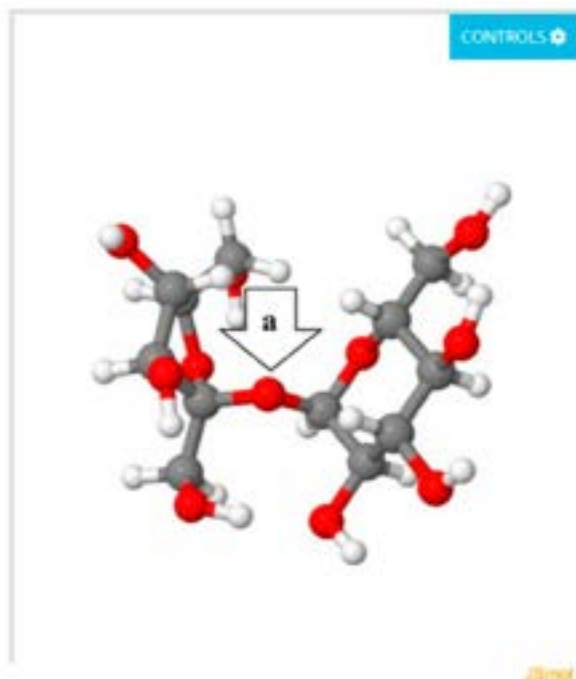
Fonte: GREEVES, 2024.

3.6.1 Sugestão de atividade para a animação Structure of Endonuclease II

- Tema da atividade: Ligação glicosídica de um dissacarídeo
- Atividade sugerida: Na animação apresentada, localize o átomo de oxigênio que participa da ligação glicosídica da molécula de sacarose.
- Resolução da atividade: A resolução desta atividade está apresentada na Figura 7. Na formação da

ligação glicosídica, ocorre a remoção de um grupamento hidroxila de um monossacarídeo e de um átomo de hidrogênio de um grupamento hidroxila de outro monossacarídeo, havendo a formação de uma molécula de água e a união dos monossacarídeos por meio do átomo de oxigênio do grupamento hidroxila cujo átomo de hidrogênio foi removido (TIAN et al., 2024). Ao movimentar a molécula de sacarose (Figura 7), é possível observar o átomo de oxigênio (a) que participa da ligação glicosídica unindo os dois monossacarídeos.

Figura 7 – Resolução da atividade proposta para a animação Introductory Structures: Sucrose

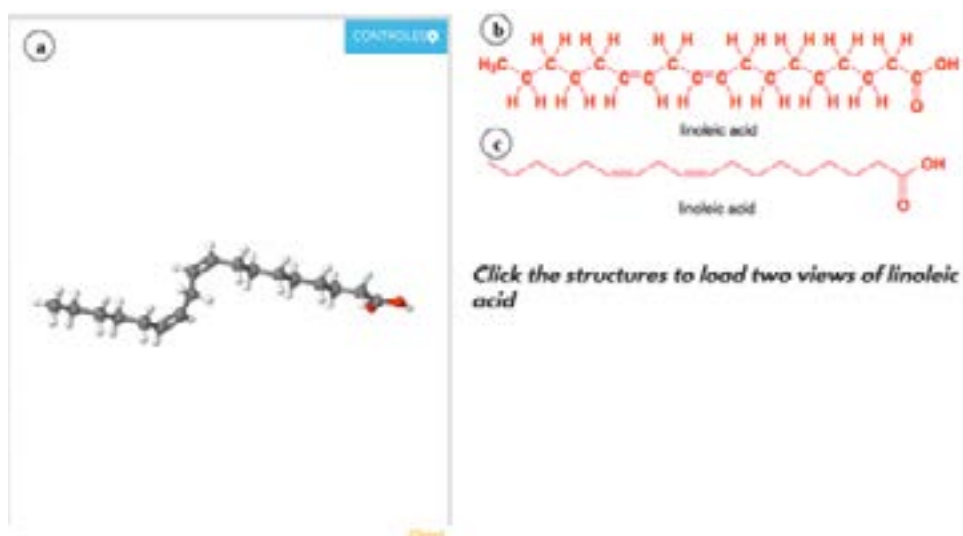


Fonte: GREEVES, 2024.

3.7 Animação Introductory structures linoleic acid X-ray structure

Na animação Introductory structures linoleic acid X-ray structure (Estruturas introdutórias: estrutura do ácido linoleico determinada por raios X) (Figura 8), mostra a estrutura do ácido linoleico (a), um ácido graxo insaturado. Nesta atividade, é possível observar uma molécula de ácido linoleico em duas fórmulas estruturais diferentes: (b) completa e (c) condensada.

Figura 8 - Animação Introductory structures linoleic acid X-ray structure



Fonte: GREEVES, 2024.

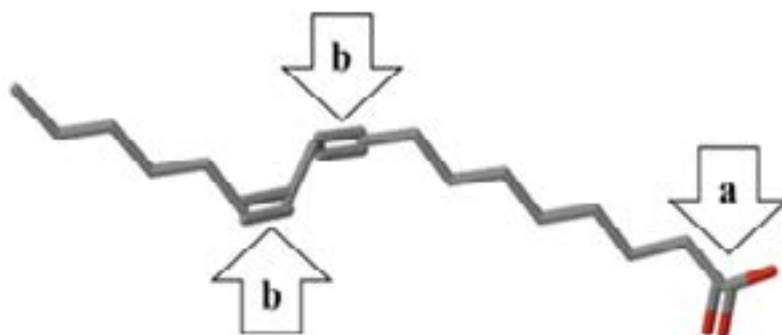
3.7.1 Sugestão de atividade para a animação Introductory structures linoleic acid X-ray structure

a) Tema da atividade: Estrutura dos lipídeos

b) Atividade sugerida: A partir da animação apresentada: a) localize o grupo carboxila; b) localize as insaturações do ácido graxo.

c) Resolução da atividade: A resolução desta atividade está apresentada na Figura 9, onde: a) o grupo carboxila corresponde ao grupamento COOH localizado em uma das extremidades da molécula (a); b) as insaturações correspondem às duplas ligações presentes na molécula estudada (b).

Figura 9 – Resolução da atividade proposta para a animação Introductory structures linoleic acid X-ray structure

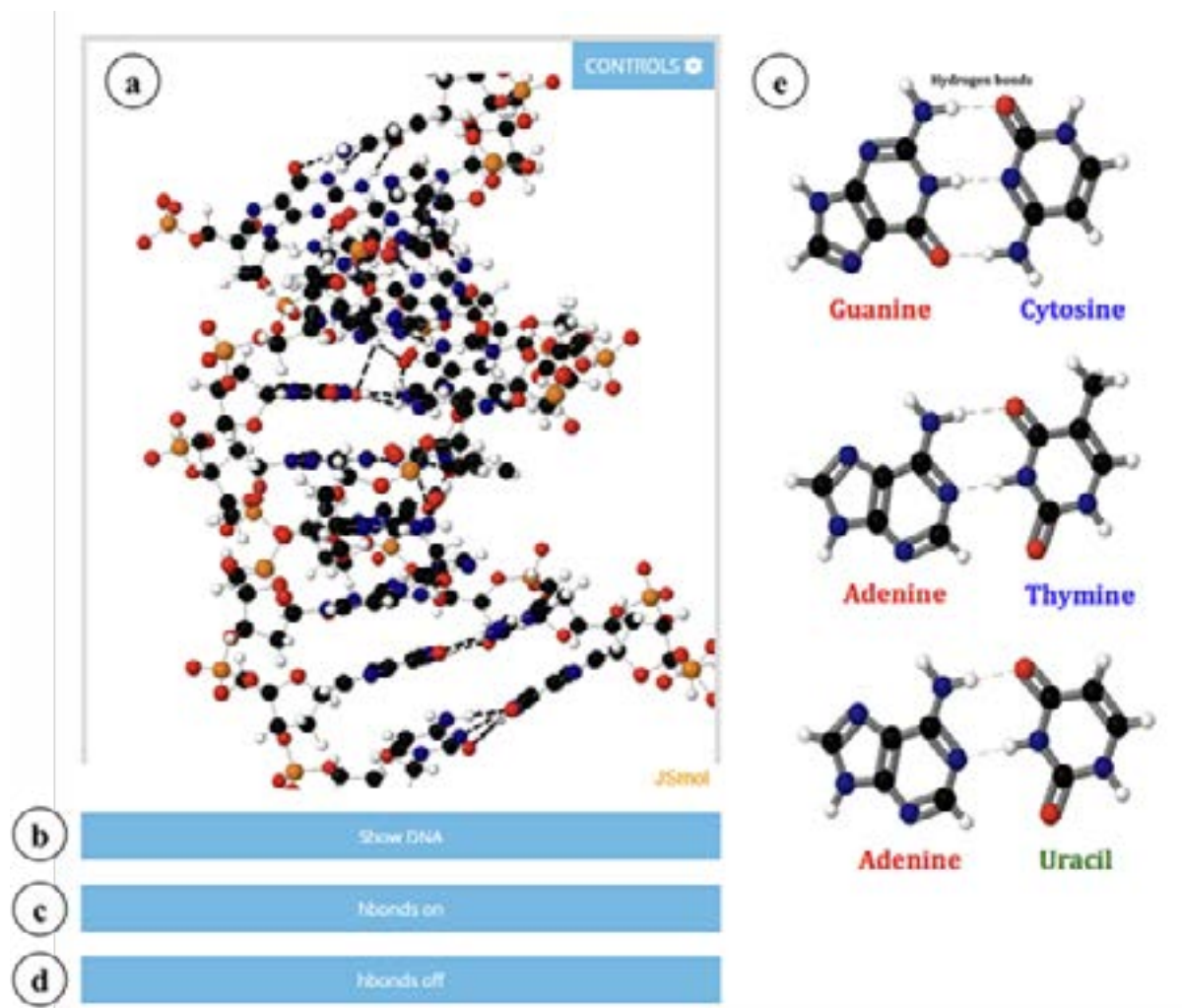


Fonte: GREEVES, 2024.

3.8 Animação DNA/RNA Base Pairs

Na animação DNA/RNA Base Pairs (Pares de bases de DNA e RNA) (Figura 10), é possível observar: a estrutura da molécula de DNA (a), utilizando o botão Show DNA (mostre o DNA) (b); as ligações de hidrogênio ou não, utilizando o botão Hbonds on (exibe as ligações de hidrogênio) (c) e Hbonds off (não exibe as ligações de hidrogênio) (d), respectivamente; e os pares de nucleotídeos de citosina e guanina (e), adenina e timina e adenina e uracila.

Figura 9 - Animação DNA/RNA Base Pairs



Fonte: GREEVES, 2024.

3.8.1 Sugestão de atividade para a animação DNA/RNA Base Pairs

a) Tema da atividade: Ligações de hidrogênio entre pares de nucleotídeos.

b) Atividade sugerida: A partir da animação apresentada, determine o número de ligações de hidrogênio entre os pares de nucleotídeos de citosina e guanina, adenina e timina e adenina e uracila.

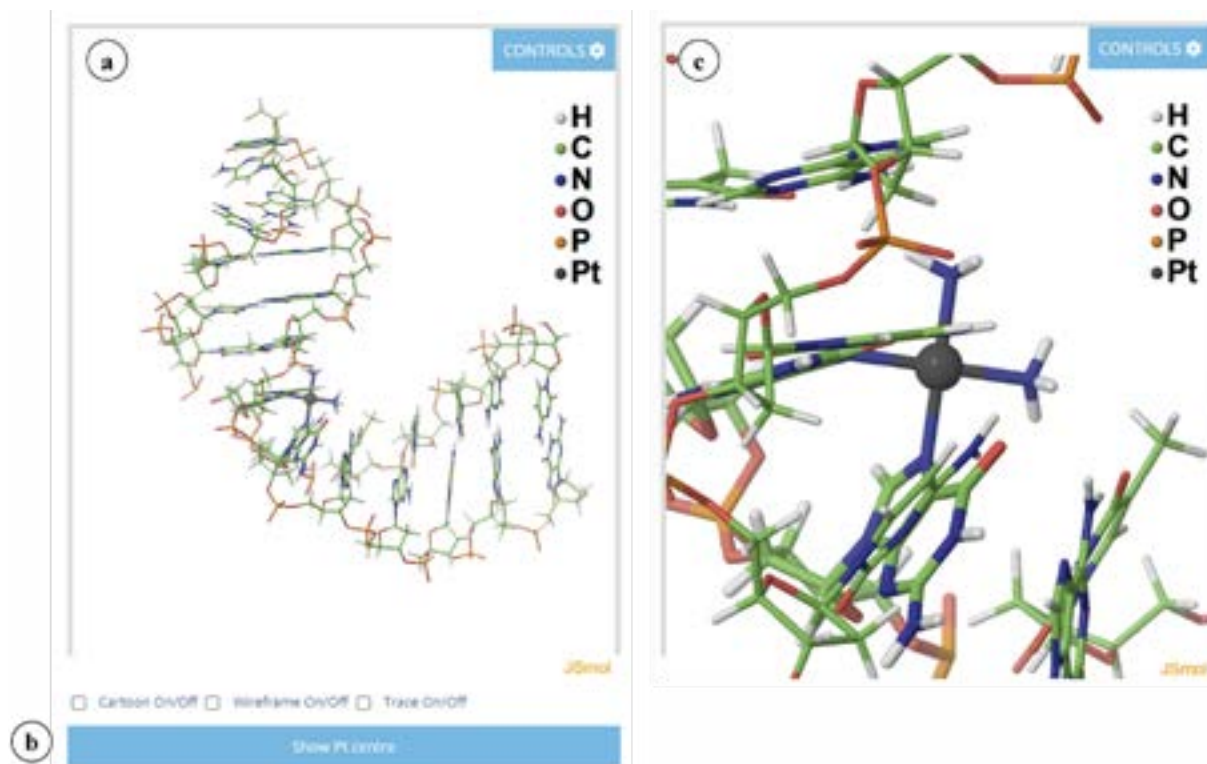
c) Resolução da atividade: Por meio da visualização da animação é possível observar que os pares de nucleotídeos de citosina e guanina estabelecem três ligações de hidrogênio entre si, enquanto os de adenina e timina, e de adenina a uracila perfazem

apenas duas ligações de hidrogênio.

3.9 Animação Coordination of Pt causes bending of the DNA helix

Na animação Coordination of Pt causes bending of the DNA helix (Ligação com a cisplatina causa uma curvatura da hélice do DNA) (Figura 10), observa-se uma molécula de cisplatina ligada às duas bases de guanina (a). Utilizando o botão Show Pt centre (b) é possível observar uma imagem ampliada da cisplatina (Pt) (c).

Figura 10 - Animação Coordination of Pt causes bending of the DNA helix



Fonte: GREEVES, 2024.

3.9.1 Sugestão de atividade para a animação Coordination of Pt causes bending of the DNA helix

a) Tema da atividade: Compreendendo a ação da Cisplatina.

b) Atividade sugerida: Na animação, localize: a) O átomo de platina; b) As bases nitrogenadas de guanina que interagem com a cisplatina; c) A curvatura da molécula de DNA.

c) Resolução da atividade: A localização dos elementos mencionados anteriormente permite que o aluno compreenda a ação antitumoral da cisplatina, que decorre da ligação entre o átomo de platina com duas bases nitrogenadas de guanina, causando a curvatura da molécula de DNA, o que impede a ação de proteínas envolvidas com a replicação, reparo e transcrição de DNA (CAMARGO; HASSUNUMA, 2023).

3.10 Animações enquanto recurso didático

Conforme observado no presente estudo, as animações podem ser consideradas importantes ferramentas didáticas no ensino de Bioquímica, tanto na visualização da estrutura de biomoléculas como para compreensão de sua função e participação em diferentes vias metabólicas. Este recurso também se mostra interessante aos alunos quando se trata do Ensino à Distância e na aprendizagem assistida por computador (ROESLER; DREAVAR-CHARLES, 2018).

Vale ressaltar que a aplicação de animações não está restrita à aprendizagem por alunos em sala de aula. Esta estratégia didática também pode ser utilizada em pacientes no intuito de facilitar a compreensão sobre determinadas doenças, respondendo suas dúvidas, reduzindo suas preocupações e melhorando a qualidade de vida dos mesmos (SALLMAN et al., 2022).

As animações e técnicas de visualização como modelagem em 3-D foram amplamente utilizados por pesquisadores durante a pandemia da covid-19 como ferramentas de ensino sobre a estrutura, função e dinâmica das proteínas virais para a comunidade acadêmica, bem como para o público em geral, melhorando a comunicação científica sobre o assunto. Este foi um importante recurso para esclarecimento sobre as proteínas virais e o desenvolvimento de vacinas e também para conscientização da população mundial e controle da pandemia (IANNUCCI et al., 2022).

Com o avanço tecnológico, incluindo o desenvolvimento de novos smartphones e monitores, as animações passaram a ser utilizadas também na apresentação de pôsteres digitais em eventos científicos, permitindo que espectadores possam compreender de modo mais fácil a estrutura de biomoléculas, além de captar a atenção dos mesmos (FARIDI et al., 2021).

4 CONCLUSÕES

O avanço tecnológico observado nas últimas décadas, assim como às necessidades impostas pelo isolamento social durante a pandemia da covid-19, levou que professores de diferentes níveis de ensino passassem a usar novas tecnologias de informação e comunicação. Especialmente animações foram desenvolvidas no intuito de auxiliar no ensino à distância, bem como para suprir as necessidades de atividades práticas laboratoriais.

Nesse contexto, o ChemTube3D foi desenvolvido no intuito de funcionar como uma biblioteca de química, discutindo diferentes conceitos e reações químicas. As animações apresentadas no presente estudo abrangem diferentes temas relacionados à Bioquímica Estrutural como a estrutura e função de proteínas, carboidratos, lipídios e ácidos nucleicos.

Uma limitação observada no ChemTube3D é o fato de as edições das animações serem limitadas às funções do JSmol. Assim, espera-se que futuramente, novas atualizações do site permitam uma personalização mais variada ou que novos programas computacionais em química sejam desenvolvidos no intuito de serem utilizados para criação de novas animações didáticas.

CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse na presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, G.; HASSUNUMA, R. M. **Cisplatina: uma visão bioquímica**. 1. ed. Bauru: Canal 6 Editora, 2023.

DAS, B.; BANERJEE, K.; GANGOPADHYAY, G. On the role of magnesium ions in the DNA-scissoring activity of the restriction endonuclease ApaI: stochastic kinetics from a single molecule to mesoscopic paradigm. **J. Phys. Chem. B.**, v. 125, n. 16, p. 4099-107, 2021 Apr. 29. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcc.0c10643>. Acesso em: 21 abr. 2024.

DING, J.; JI, X.; ZHU, K.; ZHU, H. Application effect evaluation of hybrid biochemistry teaching model based on WeChat platform under the trend of COVID-19. **Medicine (Baltimore)**, v. 102, n. 9, p. e33136, 2023 Mar. 3. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9981245/>. Acesso em: 24 mar. 2024.

FARIDI, E.; GHADERIAN, A.; HONARASA, F.; SHAFIE, A. Next generation of chemistry and biochemistry conference posters: animation, augmented reality, visitor statistics, and visitors' attention. **Biochem. Mol. Biol. Educ.**, v. 49, n. 4, p. 619-24, 2021 Jul. Disponível em: <https://iubmb.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bmb.21520>. Acesso em: 24 mar. 2024.

GREEVES, N. ChemTube3D. Disponível em: <https://www.chemtube3d.com/>. Acesso em: 23 mar. 2024.

HANSON, R. M.; PRILUSKY, J.; RENJIAN, Z.; NAKANE, T.; SUSSMAN, J. L. JSmol and the next-generation web-based representation of 3d molecular structure as applied to Proteopedia. **I. J. C.**, v. 53, n. 3-4, p. 207-16, 2013 Apr. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ijch.201300024>. Acesso em: 23 mar. 2024.

HASSUNUMA, R. M.; GARCIA, P. C.; MESSIAS, S. H. N. Estrutura secundária de proteínas. In: _____. **Práticas de Bioquímica: simulação computacional no estudo de aminoácidos e proteínas**. Bauru: Canal 6 Editora, 2018. p. 22-3. Disponível em: <https://canal6.com.br/livreacesso/livro/praticas-de-bioquimica-simulacao-computacional/>. Acesso em: 21 abr. 2024.

HENDRICKSON, W. A.; TEETER, M. M. **Water structure of a hydrophobic protein at atomic resolution. Pentagon rings of water molecules in crystals of crambin (1CRN)**. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/1CRN>. Acesso em: 21 abr. 2024.

IANNUCCI, S.; HARVEY, W.; HUGHES, J.; ROBERTSON, D. L.; HUTCHINSON, E.; POYADE, M. Using molecular visualisation techniques to explain the molecular biology of SARS-CoV-2 spike protein mutations to a general audience. **Adv. Exp. Med. Biol.**, v. 1388, p. 129-52, 2022. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-10889-1_6. Acesso em: 24 mar. 2024.

JENKINSON, J. Molecular biology meets the learning sciences: visualizations in education and outreach. **J. Mol. Biol.**, v. 430, n. 21, p. 4013-27, 2018 Oct. 19. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022283618309884>. Acesso em: 24 mar. 2024.

LEE, R. K. Y.; NG, B. Y. N.; CHEN, D. M. H. Blended learning in biochemistry: The development of pre-class and post-class learning aids for electron transport chain and oxidative phosphorylation. **Biochem.**

Mol. Biol. Educ., v. 52, n. 2, p. 220-7, 2024 Mar.-Apr. Disponível em: <https://iubmb.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bmb.21809>. Acesso em: 05 jul. 2024.

O'CONNOR, C.; JORDAN, K.; VAGG, T.; MURPHY, C. E.; BARRY, D. S.; TOULOUSE, A.; FLETCHER, J. M.; DOWNER, E. J. Animated teaching improves student learning of human gastrulation and neurulation. **Ann. Anat.**, v. 247, p. 152057, 2023 Apr. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0940960223000122>. Acesso em: 24 mar. 2024.

PUSHKAROVA, N.; YEMETS, A. Biotechnological approach for improvement of Crambe species as valuable oilseed plants for industrial purposes. **R. S. C. Adv.**, v. 12, n. 12, p. 7168-78, 2022 Mar. 2. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/ra/d2ra00422d>. Acesso em: 21 abr. 2024.

ROESLER, W. J.; DREAVAR-CHARLES, K. Responsive eLearning exercises to enhance student interaction with metabolic pathways. **Biochem. Mol. Biol. Educ.**, v. 46, n. 3, p. 223-9, 2018 May. Disponível em: <https://iubmb.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bmb.21112>. Acesso em: 24 mar. 2024.

SALLMAN, D. A.; BEJAR, R.; MONTALBAN-BRAVO, G.; KURTIN, S. E.; LIST, A. F.; GARCIA-MANERO, G.; NIMER, S. D.; O'CONNELL, C. L.; SCHAAR, D.; BUTCHKO, J.; IRACA, T.; SEARLE, S. Improving patient understanding and outcomes in myelodysplastic syndromes - An animated patient guide to MDS with visual formats of learning. **Leuk. Res. Rep.**, v. 17, p. 100328, 2022 May 25. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9160489/>. Acesso em: 24 mar. 2024.

TIAN, B.; MAO, J.; ZU, M.; WU, R.; XIAO, C. Study of the mechanism of hydrolysis of hemicellulose from lignocellulose during alkali thermal pretreatment by density functional theory and experiment. **J. Org. Chem.**, v. 89, n. 2, p. 844-51, 2024 Jan. 19. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.joc.3c01668>. Acesso em: 21 abr. 2024.