

Simulando a replicação do DNA eucariótico por meio de um modelo didático simples e de baixo custo

Simulating eukaryotic DNA replication using a simple, low-cost didactic model

Tiago Maretti Gonçalves

*Graduado em Ciências Biológicas, modalidade licenciatura pela Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL – MG. É Mestre em Genética e Melhoramento pela Universidade Estadual de Maringá, UEM – PR. É Doutor em Ciências pelo programa de pós-graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar – SP. No doutorado, desenvolveu toda sua linha de pesquisa na EMBRAPA Pecuária Sudeste, São Carlos – SP e na EMBRAPA Gado de Leite em Juiz de Fora – MG.
Email: tiagobio1@hotmail.com*

Resumo

A Genética, é a área de Biologia que se preocupa em estudar os genes e sua hereditariedade. Dotada de termos técnicos e processos abstratos, essa área é encarada por muitos alunos como tediosa e de complexa contextualização. Para vencermos tais obstáculos, este trabalho possui como principal objetivo, propor uma simulação didática, utilizando materiais simples e de baixo custo para facilitar a aprendizagem do tópico de replicação do DNA eucariótico aos alunos do Ensino Médio, na disciplina de Biologia. O modelo didático proposto, é construído por meio de materiais de baixo custo como zíper de tecido, papéis cartões coloridos, massa de biscoito coloridas, peças de plástico (brinquedos) e caneta marcadora. Inicialmente, o professor irá apresentar o modelo aos alunos, explicando de maneira detalhada o mecanismo de replicação do DNA. Os alunos então, serão convidados a construir seus próprios modelos em uma oficina de criação de material didático, simulando o processo da replicação do material genético eucariótico. Assim, acreditamos que, o uso deste material, possa auxiliar a contextualização do tema proposto, além de instigar a criatividade dos alunos, tornando a aprendizagem da Genética, uma tarefa prazerosa e facilitadora.

Palavras-Chave

Duplicação do DNA, Genética, Material didático, Metodologia alternativa.

Abstract

Genetics is the area of Biology that is concerned with studying genes and their heredity. Endowed with technical terms and abstract processes, this area is seen by many students as tedious and complex to contextualize. To overcome these obstacles, this work has as main objective, to propose a didactic simulation, using simple and low-cost materials to facilitate the learning of the topic of replication of eukaryotic DNA to High School students, in the discipline of Biology. The proposed didactic model is built using low-cost materials such as fabric zipper, colored card papers, colored biscuit dough, plastic parts (toys) and marker pen. Initially, the teacher will present the model to the students, explaining in detail the DNA replication mechanism. Students will then be invited to build their own models in a teaching material creation workshop, simulating the process of replicating eukaryotic genetic material. Thus, we believe that the use of this material can help to contextualize the proposed theme, in addition to instigating students' creativity, making the learning of Genetics a pleasant and facilitating task.

Keywords

DNA duplication, Genetics, Didactic material, Alternative methodology.

Introdução

A Genética, é uma das áreas mais fantásticas da Ciências da vida e “é definida como o ramo da biologia envolvido no estudo da hereditariedade e da variação” (KLUG et al. 2010, p. 3). No entanto, no Ensino Médio, ela é encarada por muitos alunos como tediosa e de difícil assimilação. Neste sentido, Bilthauer e Gianotto (2021, p. 2) reiteram que:

ao trabalhar com alunos os conteúdos relativos à Genética, percebe-se uma certa dificuldade destes na compreensão dos conceitos, tanto pelo nível de abstração, como pela dificuldade com a interpretação dos enunciados e a falta de conhecimentos considerados pré-requisitos, como bioquímica e probabilidade (BILTHAUER & GIANOTTO, 2021, p. 2).

Nesta perspectiva, da Rocha (2016) salienta que a Genética possui muitos termos de cunho técnico, muito das vezes com conceitos abstratos, sendo um entrave para a plena aprendizagem dos alunos. Ademais, a Genética, é uma das áreas da Biologia que mais avançam, nesse sentido, Gambin, John Scheid e Leite (2021, p. 63), destacam que: “a progressividade na abordagem dos conteúdos de Genética implica numa crescente complexidade dos temas abordados, o que acarreta a percepção, por parte dos alunos, de que os conteúdos são difíceis”

Outro ponto a ser ressaltado, é o uso de aulas tradicionais expositivas, como o único método de ensino praticado pelos professores no cotidiano escolar, na disciplina de Biologia. Neste sentido, a utilização apenas deste recurso, pode tornar as aulas passivas, desmotivando a aprendizagem dos alunos. Nesse sentido, Oliveira e Fantin (2021, p. 178) discutem que:

Os conteúdos expostos de forma tradicional em muitas vezes tornam o momento expositivo cansativo para os alunos expectadores, levando-os a perder o interesse pela aula e, conseqüentemente, pelo conteúdo o qual está sendo trabalhado, este fato acaba por fragilizar a relação de interação entre o estudante e o professor, acarretando problemas futuros para o desempenho das atividades escolares. Os alunos ficam dispersos durante a aula, não interagindo juntamente com o professor e este adota o papel de transmissor e detentor de conhecimento, ignorando o fato de ser um educador, um mestre, um inspirador de opiniões e pensamentos e conceitos (OLIVEIRA & FANTIN, 2021, p. 178).

Para vencermos tais obstáculos, o uso de modelos didáticos no ensino da Biologia, principalmente na Genética, se desponta como um valioso recurso de ensino, capaz de auxiliar a aprendizagem dos alunos. Nesta ótica, Gonçalves (2021, p. 4855) defende que: “a busca de novas metodologias de ensino pode ser de grande importância para facilitar o processo norteador do ensino e da aprendizagem, e uma delas é o uso de modelos didáticos tridimensionais”, ou seja, a implementação de modelos didáticos permite tornar possível a visualização de algo microscópico e a compreensão de algo abstrato, como por exemplo o tópico da replicação do DNA eucariótico na sala de aula.

Segundo Krasilchik (2019), o uso de modelos didáticos é bastante comum no cotidiano escolar pelos professores de Biologia, uma vez que possuem como principal função a de exibir objetos em 3D. No entanto, a autora ressalta que o modelo pode trazer alguns impasses como fazer com que os alunos visualizem de maneira muito simplificada o que está sendo trabalhado na realidade, ou mostrar processos dinâmicos. Assim, para superarmos tais obstáculos, é fortemente recomendado que os alunos possam construir seus próprios modelos, fazendo com que os discentes possam aprender de maneira mais significativa (KRASILCHIK, 2019). Outro ponto interessante, que faz com que venha aumentando o interesse no uso de

modelos didáticos no ensino de Biologia pelos professores, é o baixo custo envolvido na sua criação, uma vez que em laboratórios, quando disponíveis, possuem um custo muito elevado em sua manutenção, como por exemplo a aquisição e uso de equipamentos e reagentes químicos (GNIECH KARASAWA, 2021).

Desta forma, o objetivo principal deste trabalho é a criação e uso de modelos didáticos, utilizando materiais simples e de baixo custo para facilitar a aprendizagem do tópico de replicação do DNA eucariótico aos alunos do Ensino Médio, na disciplina de Biologia.

Materiais e Métodos

O presente trabalho, se insere como uma abordagem qualitativa (LÜDKE & ANDRÉ, 2013; ESTRELA, 2018; PEREIRA et al. 2018; TOURINHO e SILVA, & SOUZA, 2020), sendo uma proposta educacional, para os alunos da 1ª série do Ensino Médio, na da disciplina de Biologia. A atividade, é sugerida para ser efetuada em pelo menos, 4 aulas, com duração de 50 minutos cada uma. Abaixo, segue disposto os materiais necessários para construção do modelo didático da replicação do DNA eucariótico.

- 1 zíper de tecido, com aproximadamente 50 cm de comprimento (adquirido facilmente em lojas de aviamentos e armarinhos);
- 1 papel cartão nas cores: preto, verde e roxo;
- 2 bolas de isopor (uma com 2,5 cm e outra com 3 cm de diâmetro);
- 2 unidades de Tinta acrílica (37 ml cada uma) nas cores amarelo e rosa;
- 1 pincel;
- 1 tesoura sem pontas;
- 2 unidades de Massa de biscuit (90 g, cada uma) nas cores azul e verde;
- Algum brinquedo pequeno, pode ser algo de plástico (aqui foi representado com um pequeno “tijolo”).
- Caneta marcadora para tecido na cor branca;
- Caneta marcadora na cor preta;
- Cola em bastão;
- Grampeador;

Inicialmente, o professor poderá explicar passo a passo, o mecanismo da replicação do DNA, utilizando um modelo didático já pronto, que poderá servir como exemplo para a construção dos modelos didáticos na oficina pelos alunos. Após simulada replicação do DNA por meio do modelo didático, o professor poderá explicar aos alunos para procederem a construção da molécula de DNA, que servirá como molde para a replicação do mesmo. Ambas as fitas do zíper, deverão ser marcadas com sequências de DNA (bases, A, T, C e G) complementares, com o uso da caneta marcadora de tecido na cor branca pelos alunos. Deverá ser marcado também as extremidades 5' – 3' e 3' – 5' de ambas as fitas do zíper (Figura 1).

Figura 1 - Zíper que representa a molécula de DNA e servirá como molde para a replicação. A sequência de nucleotídeos ficará a cargo do aluno completar, respeitando a complementariedade de bases, bem como marcar as extremidades 5' – 3' e 3' – 5'.



Fonte: Autor (2022)

Os nucleotídeos, serão construídos por meio do papel cartão preto, que deverá ser recortado em pequenos quadrados (Figura 2).

Figura 2 - Constituintes do modelo didático da replicação do DNA.



Fonte: Autor (2022)

Os primers de RNA (Figura 2), deverão ser confeccionados por meio do papel cartão verde, e recortado em retângulos, conforme a sequência complementar nas fitas de DNA. A enzima girase (topoisomerase), será construída por meio do papel cartão roxo, que deverá ser recortado em tiras, colando-se em suas extremidades ou grampeadas por meio de um grampeador de papel, formando um “anel” (Figura 2). A enzima DNA polimerase III, foi representada por meio de um “tijolo” de plástico que pode ser qualquer outro tipo de brinquedo com formato característico (Figura 2). A enzima RNA polimerase e a exonuclease ou DNA polimerase I, foram representadas por meio de duas bolas de isopor e pintadas com tinta acrílica nas cores amarelo e rosa, respectivamente (Figura 2). A proteína de ligação de fita simples ao DNA (SSBP) foi confeccionada em massa de biscoito na cor verde, que lembra

um formato de feijão. Por fim, a enzima ligase foi confeccionada em biscuit na cor azul, no formato de pequenas esferas (Figura 2). As enzimas “helicase”, serão representadas pelos feixes do próprio zíper (Figura 1 “ao centro”).

Resultados e Discussões

O professor, poderá inicialmente, ressaltar a importância do mecanismo da replicação do DNA nas células, sendo responsável principalmente pelo fluxo e perpetuação da informação genética para as células filhas. Assim, a replicação do DNA ocorre antes que as células entrem em processo de divisão celular, ou seja, na etapa de S (Síntese de DNA e duplicação dos cromossomos), mais precisamente, dentro da interfase do ciclo celular, e é um mecanismo semiconservativo, ou seja, duas fitas mães (fitas velhas) são utilizadas como molde para formação de duas fitas filhas (novas ou recém-sintetizadas) (KLUG et al. 2010; PIERCE, 2013; SNUSTAD & SIMMONS, 2013; SANDERS & BOWMAN, 2014; GRIFFITHS et al. 2016).

A simulação do mecanismo da replicação do DNA eucariótico (Figura 3), se inicia com ao papel da enzima helicase (que é representada pelos feixes metálicos do zíper, tanto o da esquerda como o da direita) que será aberto pelo professor em ambos os lados (setas vermelhas). Essa enzima possui como principal função a de desenrolar e separar as fitas parentais (REECE et al., 2015), rompendo as ligações de hidrogênio entre elas, formando o que chamamos de bolha de replicação e as forquilha de replicação em ambas as extremidades das fitas (Figura 3).

Figura 3 - Primeira etapa da replicação do DNA eucariótico, o papel da enzima helicase



Fonte: Autor (2022).

Nesta etapa, o professor deverá ressaltar aos alunos que a replicação é bidirecional, ou seja, ocorre a formação de fitas em ambos os lados da forquilha de replicação (para esquerda e para a direita). E na replicação dos genomas eucarióticos, podem existir múltiplas bolhas de replicação.

Na próxima etapa, o professor irá simular a ação das enzimas SSBP e da Girase (ou topoisomerase). As Proteínas de ligação de fita simples ao DNA (SSBP) se ligam nas fitas moldes, com a função de não permitir que elas voltem a se ligar quando estiverem no processo de replicação, promovendo sua estabilização (REECE et al., 2015). A enzima girase ou topoisomerase, nas extremidades, possui como função, a de relaxar as torções do DNA, facilitando a replicação do mesmo (REECE et al., 2015) (Figura 4).

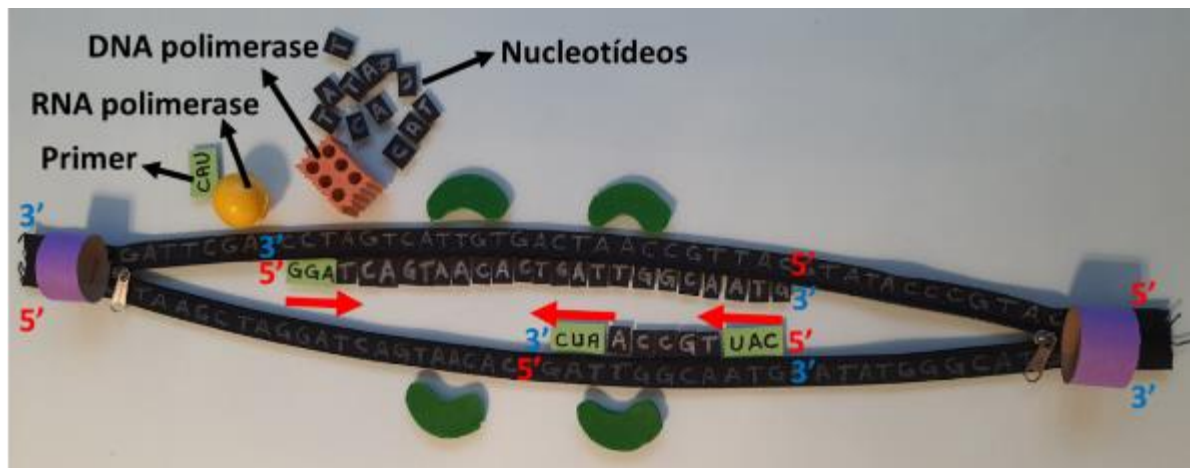
Figura 4 - Segunda etapa da replicação do DNA eucariótico, o papel da enzima SSBP e Girase.



Fonte: Autor (2022).

Agora, o professor poderá simular o início da formação das novas fitas de DNA (Figura 5). Os retângulos verdes, simulam os primers de RNA, que iniciam a formação dessas fitas, tendo como molde, as fitas mães (antigas) que serão inseridos sempre no sentido 5' para 3', por meio da enzima RNA polimerase (bola de isopor amarela). Os nucleotídeos são representados pelos cartões pretos, inseridos de maneira complementar em relação as fitas moldes. Este processo nas células, é realizado pela enzima DNA polimerase ou mais especificamente a DNA polimerase III (representada pelo “tijolo”), que possui como função a de inserir nucleotídeos novos, complementares a fita preexistente (REECE et al. 2015), sempre no sentido 5' para 3' (Figura 5). Essa questão, pode ser explicada aos alunos justamente pelo fato da molécula de DNA ser antiparalela, ou seja, uma fita é orientada para a extremidade 3' e a outra, orientada para a extremidade 5'. Assim, na replicação do DNA, a enzima, DNA polimerase, só consegue adicionar nucleotídeos de maneira contínua, na extremidade livre 3'OH.

Figura 5 - Ação da enzima RNA polimerase, Primers de RNA e DNA polimerase III na replicação do DNA eucariótico.



Fonte: Autor (2022).

A replicação continua, com a inserção de novos primers de RNA (pela enzima RNA polimerase – bola amarela) e de nucleotídeos (pela enzima DNA polimerase III – “tijolo”). Aqui, o professor deverá ressaltar aos alunos que as fitas novas vão sendo formadas, sendo que uma é contínua (fita-líder) e a outra é descontínua (retardada ou retrógrada). (Figura 6).

Figura 6 - Replicação do DNA eucariótico, detalhe da fita contínua e descontínua.



Fonte: Autor (2022).

Agora, o professor irá simular a ação da enzima exonuclease, também denominada de DNA polimerase I (representada pela bola de isopor rosa), que possui como função a de remover os primers de RNA, em ambas as fitas, contínua e descontínua, e adicionar novos nucleotídeos de DNA, nessas fitas (REECE et al. 2015). Na fita descontínua, é formado o Fragmento de Okazaki, que é a fita de DNA na ausência dos primers de RNA (fita com lacunas) (Figura 7).

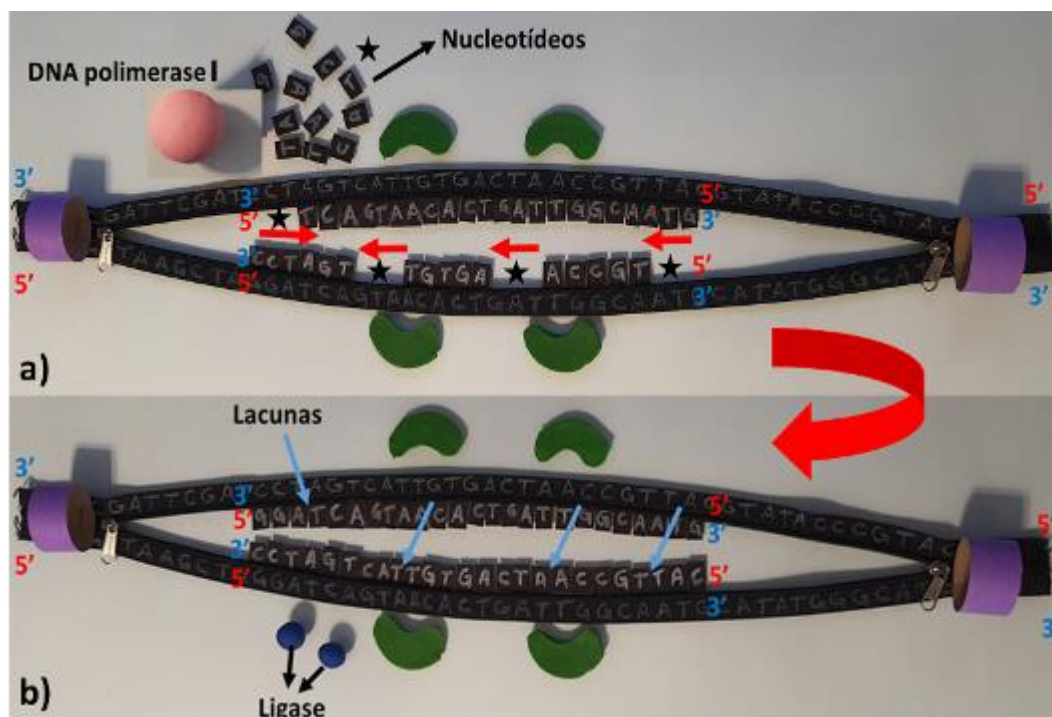
Figura 7 - Replicação do DNA eucariótico, enzima exonuclease e o fragmento de Okazaki.



Fonte: Autor (2022).

O professor irá simular por meio da enzima exonuclease ou DNA polimerase I (bola rosa), no sentido 5' para 3', a adição de nucleotídeos nessas lacunas (estrelas - fragmentos de Okazaki), completando as fitas novas (recém-sintetizadas) a partir das fitas mãe (molde) (Figura 8 a e b). Agora, existem lacunas nas fitas recém-sintetizadas (novas) que serão preenchidas por meio da enzima ligase (bolaz azuis), além da formação de ligações fosfodiéster (Figura 8b).

Figura 8 - Replicação do DNA eucariótico, adição de novos nucleotídeos nas lacunas das fitas recém-sintetizadas pela enzima DNA polimerase I ou exonuclease (a e b) e ação da enzima ligase (b) setas azuis.



Fonte: Autor (2022).

No fim da simulação (Figura 9), o professor irá evidenciar aos alunos que ocorreu com êxito, o mecanismo da replicação do DNA. Assim, temos a formação de duas fitas novas (recém-sintetizadas), formadas a partir de suas fitas moldes (uma molécula antiga). Esse mecanismo segue o modelo da replicação semiconservativa, corroborada pelo experimento de Meselson e Stahl de 1958. (MESELSON & STAHL, 1958).

Figura 9 - Final da simulação do modelo didático para o mecanismo da replicação do DNA eucariótico, corroborando o experimento de Meselson e Stahl de 1958, sendo semiconservativo. As estrelas rosas, mostram as novas fitas formadas, complementares em relação as fitas moldes (estrelas pretas).



Fonte: Autor (2022).

O professor também pode comentar com os alunos, que o processo de replicação do DNA, por mais que seja muito eficiente, não é exato, e erros podem ocorrer. Esses erros são designados de mutações, e podem estar associados ao mal pareamento de bases, inseridos de maneira errônea na fita nova que está sendo formada no processo replicativo do DNA. Neste sentido, a maquinaria de replicação possui mecanismos que reconhecem o erro e conseguem revertê-lo de maneira eficiente, evitando que essas mutações se perpetuem para novas gerações. Mesmo após replicada a molécula de DNA, pode sofrer alterações, associadas a

danos gerados por agentes físicos e químicos, assim diversos tipos de enzimas atuam corrigindo essas alterações (REECE et al., 2015). Assim, a replicação do DNA, é um mecanismo muito importante e elegante nas células, tanto eucarióticas como procarióticas, tendo como principal função a de garantir a perpetuação da informação genética, por meio de uma maquinaria de enzimas muito bem reguladas e com funções específicas. Além disso, a replicação do DNA, entra como base para que ocorra o processo de transcrição, que é a formação de um RNA mensageiro, e a tradução polipeptídica, na formação das proteínas, encerrando-se assim o fluxo de informação genética. Neste sentido, Koolman e Röhm (2005, p. 84), destacam que:

O DNA serve a todas as células como **reservatório para a informação** genética. Certas regiões da molécula de DNA (“genes”) são por necessidade transcritas em RNAs, que assumem funções estruturais e catalíticas ou servem como molde para a síntese de proteínas” (KOOLMAN & RÖHM, 2005, p. 84).

Outro ponto que pode ser ressaltado, é que a metodologia do uso de modelos didáticos manipuláveis proposto neste artigo, pode ser de grande impacto aos alunos com necessidades especiais, pois segundo Gniech Karasawa (2021, p. 9), “[...] por ser uma atividade inclusiva, pois permite que alunos com déficit de atenção, hiperatividade, com deficiências, entre outros, sejam beneficiados gerando maior comprometimento e aprendizado.”

Por fim, é interessante ressaltarmos, que em detrimento a pandemia do novo coronavírus (SARS-CoV-2), que é o agente acusador da doença viral COVID-19, que acometeu o mundo, e no caso do nosso país desde março de 2020, houve o fechamento das escolas e universidades como medida protetiva contra novas infecções (COSTA, FERNANDES & DE PAULA, 2021). Neste sentido as aulas estão seguindo o modelo de ensino semipresencial, ou virtual. Assim, como sugestão, a atividade prática proposta, poderá ser realizada pelos alunos em suas próprias casas, sob orientação prévia do professor da disciplina de Biologia. Os alunos poderão tirar fotos dos modelos ou gravar vídeos, explicando e simulando o passo a passo do mecanismo da replicação do DNA eucariótico. As fotos, e os vídeos das simulações, poderão ser enviados via e-mail ao professor, para correção. Em um próximo encontro, o docente poderá comentar a respeito dos modelos criados, discutindo e problematizando com o que foi contextualizado em aulas teóricas, permitindo-se assim esclarecer possíveis dúvidas dos alunos. O modelo didático proposto, também pode ser aplicado aos alunos de cursos superiores, como é o caso das Ciências Biológicas (Licenciatura ou Bacharelado) e outros cursos, pertencentes a Ciências da Saúde. Dessa forma, o professor poderá adaptá-lo, aprofundando-se o nível de sua abordagem e das discussões com os alunos, ao decorrer da atividade.

Considerações finais

Esperamos que, o uso da modelagem didática proposta neste trabalho, seja uma ferramenta valiosa permitindo, facilitar e potencializar a compreensão dos alunos de um tópico tão complexo, microscópico e abstrato que é o da replicação do DNA eucariótico.

Somado a isso, o uso do modelo didático permitirá aliar na prática, com o que foi contextualizado nas aulas teóricas sobre o assunto, além de estimular o lado criativo e lúdico dos discentes, na proposta de um trabalho que pode ser realizado em equipe.

Referências

- BILTHAUER, Marisa Inês; GIANOTTO, Dulcinéia Ester Pagani. Contribuições e dificuldades do uso das simulações para o processo ensino e aprendizagem de Genética. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20787/18450> Acesso em: 19 de fev. 2022.
- COSTA, Brunna Batista; FERNANDES, Lizandra Santos; DE PAULA, Marlúbia Corrêa. Ensino de matemática remoto: uma experiência inédita na educação básica. **Revista Concilium**, v. 21, n. 1, p. 20-35, 2021. Disponível em: <https://clium.org/index.php/edicoes/article/view/66/55> Acesso em: 19 de fev. 2022.
- ESTRELA, Carlos. **Metodologia Científica: Ciência, Ensino, Pesquisa**. Editora Artes Médicas, 2018.
- GONÇALVES, Tiago Maretti. A guerra imunológica das células contra os patógenos: a proposta de um modelo didático tridimensional de baixo custo para simulação da resposta imune celular mediada por linfócitos T CD8⁺. **Brazilian Journal of Development**. 7(1), p. 4854-4860, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23099/pdf> Acesso em: 19 de fev. 2022.
- GAMBIN, Kely Cristina; JOHN SCHEID, Neusa Maria; LEITE, Fabiane de Andrade. ESTADO DO CONHECIMENTO SOBRE ENSINO DE GENÉTICA EM PESQUISA STRICTO SENSU. **Ensino De Ciências E Tecnologia Em Revista – ENCITEC**, 11(3), p. 62-77, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.31512/encitec.v11i3.292> Acesso em: 19 de fev. 2022.
- GNIECH KARASAWA, Marines Marli. Creation and use of didactic model of the DNA molecule with low-cost materials. **Research, Society and Development**, [S. l.], 10, (8), p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17383> Acesso em: 19 de fev. 2022.
- GRIFFITHS, Anthony J. F; WESSLER, Susan R; CAROL, Sean B; DOEBLEY, John. **Introdução a genética**. 11ª edição, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.
- KLUG, William S; CUMMINGS, Michael R; SPENCER, Charlotte A; PALLADINO, Michael A. **Conceitos de Genética**. 9ª ed, Porto Alegre: Artmed, 2010.
- KOOLMAN, Jan; RÖHM, Klaus-Heinrich. **Bioquímica: texto e atlas**. 3ª ed, Porto Alegre: Artmed, 2005.
- KRASILCHIK, Myriam. **Prática de Ensino de Biologia**. 4ª ed. São Paulo: Edusp, 2019.
- LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli E. D. A. **Pesquisas em educação: uma abordagem qualitativa**. São Paulo: E.P.U, 2013.
- MESELSON, Matthew; STAHL, Franklin W. The Replication of DNA in Escherichia coli. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** v. 44, n. 7, p. 671-82, 1958. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC528642/pdf/pnas00686-0041.pdf> Acesso em: 19 fev. 2022.
- OLIVEIRA, Rosa Amanda da Silva; FANTIN, Cleiton. **Experimentação em Biologia Celular voltada para o ensino fundamental**. In: NÓBREGA, D. S.; DOS SANTOS, L. F. (Org.). Ciências em Ação: perspectivas distintas para o ensino e aprendizagem de ciências. Guarujá, SP. Editora Científica, 2021. p. 176-193. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.org/articles/201202364.pdf> Acesso em: 19 fev. 2022.
- PIERCE, Benjamin A. **Genética: um enfoque conceitual**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

PEREIRA, Adriana Soares; SHITSUKA, Dorlivete Moreira; PARREIRA, Fábio José; SHITSUKA, Ricardo. **Metodologia da pesquisa científica**. UFSM, 2018. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/358/2019/02/Metodologia-da-Pesquisa-Cientifica_final.pdf Acesso em: 19 fev. 2022.

REECE, Jane B; URRY, Lisa A; CAIN, Michael L; WASSERMAN, Steven A; MINOSRKY, Peter V; JACKSON, Robert B. **Biologia de Campbell**. 10^a ed, Porto Alegre: Artmed, 2015.

ROCHA, Silvana Cruz da. **O lúdico no ensino da Genética**. In: Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE: produções didático-pedagógicas. 2016. Disponível em:

http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2016/2016_pdp_bio_ufpr_silvanacruzdarocha.pdf Acesso em: 19 fev. 2022.

SANDERS, Mark F; BOWMAN, John L. **Análise Genética: uma abordagem integrada**. 1^a ed, São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.

SNUSTAD, D. Peter; SIMMONS, Michael J. **Fundamentos de Genética**. 6^a ed, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

TOURINHO E SILVA, Adjane da Costa; SOUZA, Divanizia do Nascimento. **Sequências de ensino investigativas para o ensino de ciências**. Curitiba: Ed. CRV, 2020.

