

Impressão 3D no ensino de Genética: uma abordagem interativa para o estudo da estrutura do DNA



Ricardo Utsunomia¹, Júlia Chiti Pinheiro²

¹Departamento de Ciências Biológicas, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Campus de Bauru, Bauru, SP

²Departamento de Educação, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Campus de Bauru, Bauru, SP

Autor para correspondência – ricardo.utsunomia@unesp.br

Palavras-chave: Impressão 3D, genética molecular, DNA, ensino

A genética é fundamental no ensino de biologia e a compreensão da estrutura do DNA é essencial para entender processos biológicos e moleculares. Este artigo propõe o uso da impressão 3D como ferramenta didática para o ensino da estrutura do DNA, oferecendo uma abordagem interativa e acessível. Modelos 3D de baixo custo permitem que os alunos visualizem e manipulem a molécula de DNA, facilitando a aprendizagem de conceitos complexos, como a complementaridade de bases e o antiparalelismo das fitas. O modelo proposto pode ser adaptado a diferentes níveis de ensino, desde o ensino básico até o superior, e é complementado por atividades práticas, como a montagem e replicação do DNA, que estimulam a participação ativa e o desenvolvimento de habilidades científicas. A utilização de *softwares* de modelagem, como o Fusion 360, permite a personalização dos modelos, tornando o recurso ainda mais flexível. Esta abordagem demonstra como tecnologias emergentes podem enriquecer o ensino de genética, promovendo uma aprendizagem mais dinâmica e eficaz.

A genética desempenha um papel crucial no ensino de biologia, sendo reconhecida como uma ciência que se dedica ao estudo da informação biológica. Os geneticistas buscam entender as leis que regem a transmissão dessa informação em três níveis principais: entre pais e filhos dentro das famílias; do DNA às ações dos genes nas células e seus processos internos; e, ao longo de diversas gerações, dentro das populações de organismos. No ensino médio, a genética é abordada na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para Ciências da Natureza, sendo contemplada na habilidade (EM13CNT304), que orienta o ensino dessa temática de forma a promover a reflexão crítica sobre os avanços e dilemas da ciência genética, enquanto no ensino superior é um tema abordado especialmente em cursos de graduação relacionados às Ciências Biológicas.

Entre os tópicos fundamentais da genética está a estrutura molecular do DNA, que constitui a base física da herança biológica e é essencial para a compreensão do funcionamento dos genes e da transmissão da informação genética. O estudo do DNA, portanto, é um ponto de convergência para a Biologia em diferentes níveis de ensino. O conhecimento sobre a estrutura molecular do DNA, especificamente, é fundamental em diversos contextos educativos, desde a educação básica até o ensino superior na área

das Ciências da Vida. Na educação básica, a genética é apresentada de maneira mais estruturada, com habilidades específicas relacionadas à hereditariedade, no 9º ano do ensino fundamental, conforme estabelecido pela BNCC. No ensino superior, o entendimento da estrutura do DNA serve como base para a compreensão de processos mais complexos no campo da biologia celular, evolução, conservação, biologia molecular, dentre outras áreas.

A temática “estrutura do DNA” fornece os alicerces teóricos necessários para a assimilação de conceitos centrais da Biologia Celular e Molecular. Tais conceitos abrangem desde processos fundamentais, como a replicação e transcrição do material genético e mutações, até aplicações mais avançadas, como a reação em cadeia da polimerase (PCR), o desenho de *primers* e as tecnologias de DNA recombinante. O domínio dessa estrutura é, portanto, crucial para o avanço do conhecimento nas diversas áreas da Biologia, tanto no contexto acadêmico quanto em suas aplicações práticas.

Considerando a complexidade das estruturas e das ligações químicas presentes na molécula do DNA, o uso de modelos didáticos em sala de aula pode ser uma estratégia valiosa, pois não apenas facilita o ensino e a aprendizagem dos alunos, mas também promove

práticas investigativas que estimulam uma compreensão mais aprofundada e significativa do conteúdo. Esses modelos permitem que os estudantes visualizem e manipulem representações tridimensionais das moléculas, conectando conceitos teóricos à realidade tangível, o que potencializa o engajamento e consolida o aprendizado.

Nos últimos anos, a impressão 3D tem se estabelecido como um recurso inovador e acessível no campo educacional, especialmente para a criação de modelos de estruturas complexas, como o DNA. Entre suas principais vantagens está a flexibilidade para produzir modelos personalizados, sendo possível ajustar características como tamanho, forma, cores, encaixes e detalhes, de acordo com as necessidades pedagógicas. Essa adaptabilidade favorece a criação de materiais didáticos mais eficientes e contextualizados, atendendo a diferentes níveis de ensino e abordagens de aprendizado.

A tecnologia da impressão 3D apresenta baixo custo de produção, tornando-se uma alternativa viável para ampliar o acesso a materiais educativos de qualidade. A interatividade proporcionada pelos modelos 3D também favorece a manipulação e a criação de representações mentais sobre esta área de conhecimento que exige habilidades de abstração.

Neste contexto, apresentamos um recurso didático, desenvolvido para ser utilizado em diferentes níveis de ensino. O objetivo é dis-

ponibilizar um material acessível e de fácil adaptação, que possa enriquecer o aprendizado e estimular a compreensão dos conceitos-chave da Biologia Molecular. Trata-se de um modelo de estrutura do DNA para impressão em 3D, com baixo custo de produção e flexibilidade para adaptação a diferentes temáticas educacionais. Esse recurso pode ser utilizado não apenas para a visualização tátil e interativa da molécula de DNA, mas também para a exploração de processos como a replicação do DNA e a reação em cadeia da polimerase (PCR). Os arquivos para impressão estão disponíveis gratuitamente para *download*, incentivando seu uso não comercial em ambientes educacionais.

Após baixar os arquivos, é possível realizar adaptações utilizando *softwares* como o Fusion 360 (Figura 1), possibilitando que o modelo seja ajustado de acordo com as necessidades específicas de cada ambiente educacional. Essa flexibilidade permite a personalização do recurso, tornando-o ainda mais relevante e eficaz para diferentes contextos pedagógicos, incentivando a criatividade e a adequação às demandas de ensino e aprendizagem. Para contextos escolares ou universitários em que os estudantes têm acesso a impressoras 3D, também pode ser uma oportunidade de incluí-los no processo de adaptação e impressão dos elementos do modelo, contribuindo para que reconheçam a importância e aprendam a manipular a ferramenta de impressão 3D para o desenvolvimento de modelos capazes de resolver problemas da vida real.

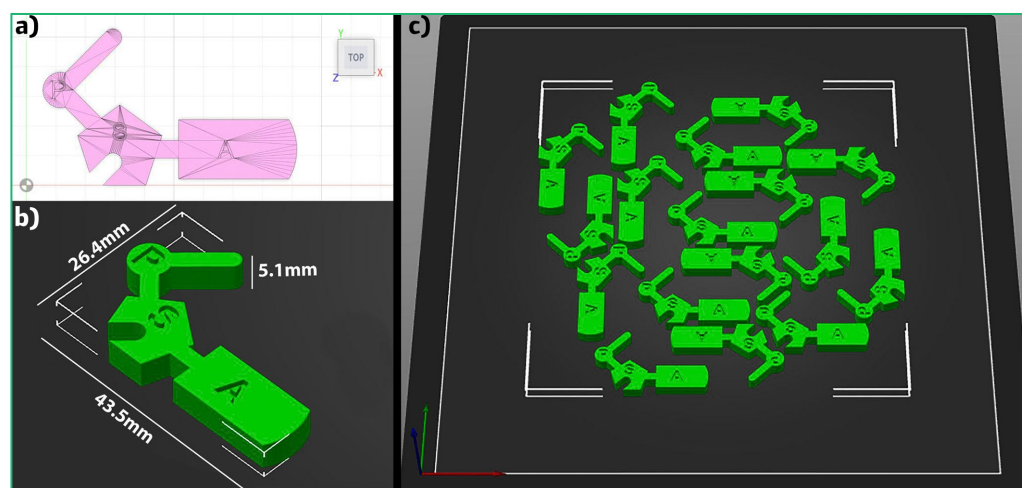


Figura 1.

Especificações dos modelos para o nucleotídeo adenina. **(a)** Modelo tridimensional de um nucleotídeo projetado no software Fusion 360. **(b)** Modelo importado no software PrusaSlicer, com as dimensões dos três eixos (X, Y e Z) claramente indicadas. **(c)** Arranjo de 17 nucleotídeos de adenina preparados para impressão em uma impressora 3D com volume útil de 220 x 220 x 270 mm (exemplo: Ender S1 Pro).

Instruções para o(a) professor(a)

Materiais necessários

- Nucleotídeos (Adenina, Guanina, Timina, Citosina e Uracila) impressos em ácido poliláctico (PLA)*;
- Ímãs de Neodímio;
- Placa de Metal (ou mural de fotos em metal);
- Cola instantânea multiuso.

*Embora o ácido poliláctico (PLA) seja recomendado por sua facilidade de impressão e sustentabilidade, outros filamentos, como o ABS, também podem ser utilizados, especialmente em casos que demandem maior resistência térmica ou durabilidade. A escolha do material pode variar de acordo com as especificidades do ambiente e das condições de uso.

Construção e preparo dos materiais

Após a impressão 3D dos nucleotídeos, sugerimos colar pequenos ímãs de neodímio na parte traseira dos nucleotídeos (Figura 2). Isso permitirá uma manipulação mais eficiente dos nucleotídeos para ser trabalhada sobre a placa de metal.

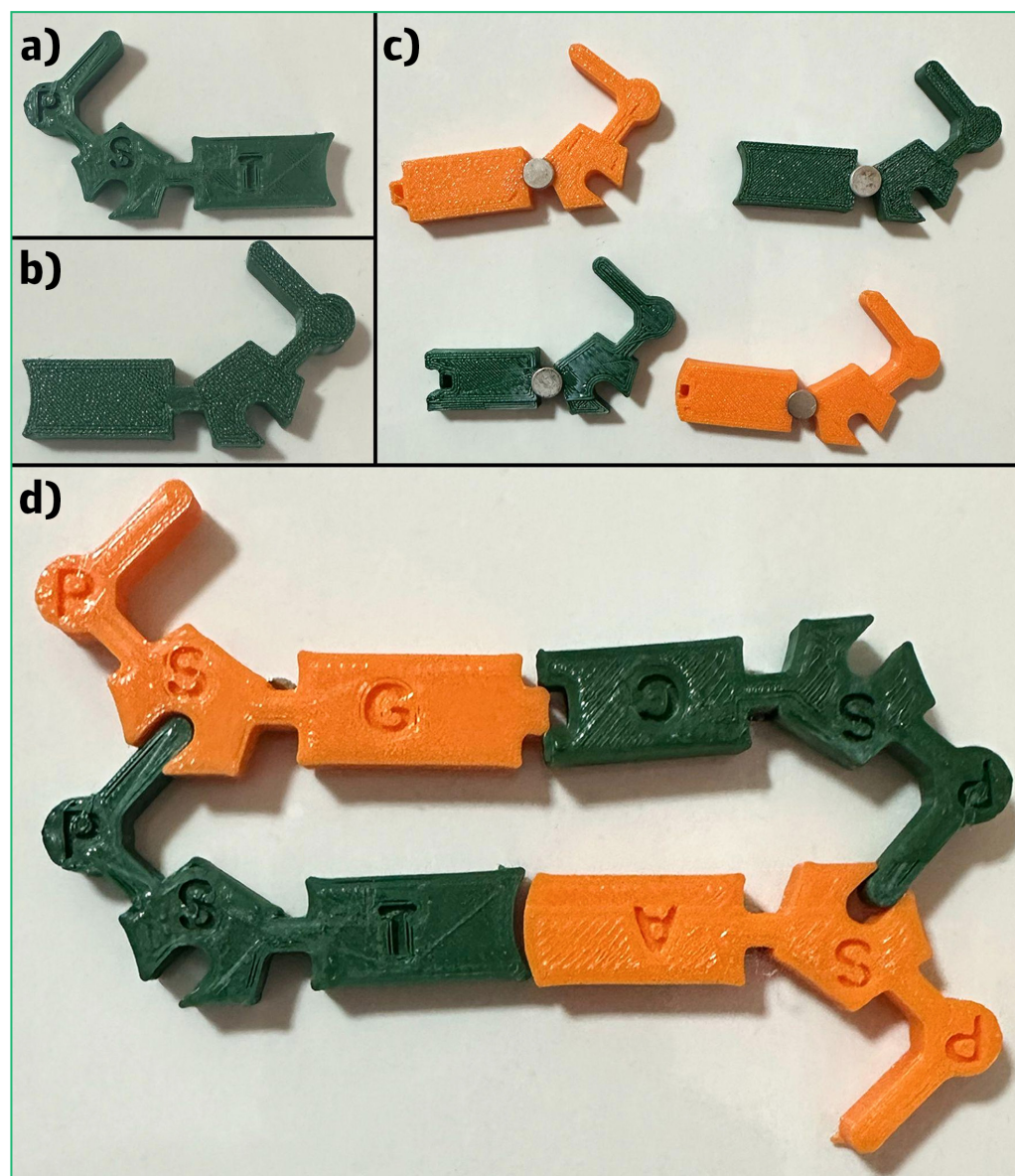


Figura 2. Nucleotídeos impressos em PLA. **(a)** nucleotídeo timina; **(b)** Lado traseiro do nucleotídeo; **(c)** Quatro nucleotídeos com ímãs de neodímio colados manualmente nas faces traseiras; **(d)** Nucleotídeos pareados e presos a uma placa de metal.

Recomenda-se que as atividades propostas sejam aplicadas no início de cada temática a ser trabalhada, antes das aulas teóricas sobre os respectivos temas. Ao introduzir os temas por meio de atividades práticas e exploratórias, os alunos são incentivados a observar, questionar e buscar padrões ou soluções de forma ativa, antes de receberem as explicações teóricas. Essa estratégia permite que eles construam uma base inicial de entendimento por meio da experimentação e da interação direta com os modelos ou problemas propostos. Assim, a teoria passa a ser um suporte para aprofundar ou corrigir percepções previamente construídas, tornando o aprendizado mais significativo. Além disso, essa atividade favorece o desenvolvimento de habilidades críticas, como a formulação de hipóteses, a análise de dados e a resolução de problemas, características essenciais da ciência investigativa.

Propostas de sequência didática com o uso do modelo

1. Estrutura básica da molécula de DNA

Com este material é possível trabalhar conceitos básicos da estrutura do DNA, como: i) a complementaridade de bases e a regra de

Chargaff (observação de que as proporções de adenina e timina são iguais, assim como as proporções de citosina e guanina); e ii) o antiparalelismo do DNA e as extremidades 3' e 5'. Para isso, propomos a seguinte atividade:

a) Divisão dos grupos

Organize a turma em pequenos grupos de 3 a 4 alunos. Cada grupo receberá:

- Um cartão de atividades (Anexo I);
- Um conjunto de 20 nucleotídeos, composto por 6 contendo adenina, 6 com timina, 4 com citosina e 4 com guanina;
- Uma placa de metal.

b) Instruções para a prática

- Pedir aos estudantes que façam a leitura do cartão de atividades A (Anexo I), procedendo com uma análise detalhada dos nucleotídeos individuais. Nessa etapa eles devem se atentar à composição dos nucleotídeos – um grupo fosfato (P), uma pentose com cinco carbonos (S) e uma base nitrogenada (A, T, C ou G), bem como as extremidades 3' e 5' do açúcar;
- Solicitar que o grupo realize uma montagem da molécula conforme pensam ser a forma mais correta;
- Ao final da montagem, os estudantes deverão ter montado uma molécula similar à mostrada na Figura 3.

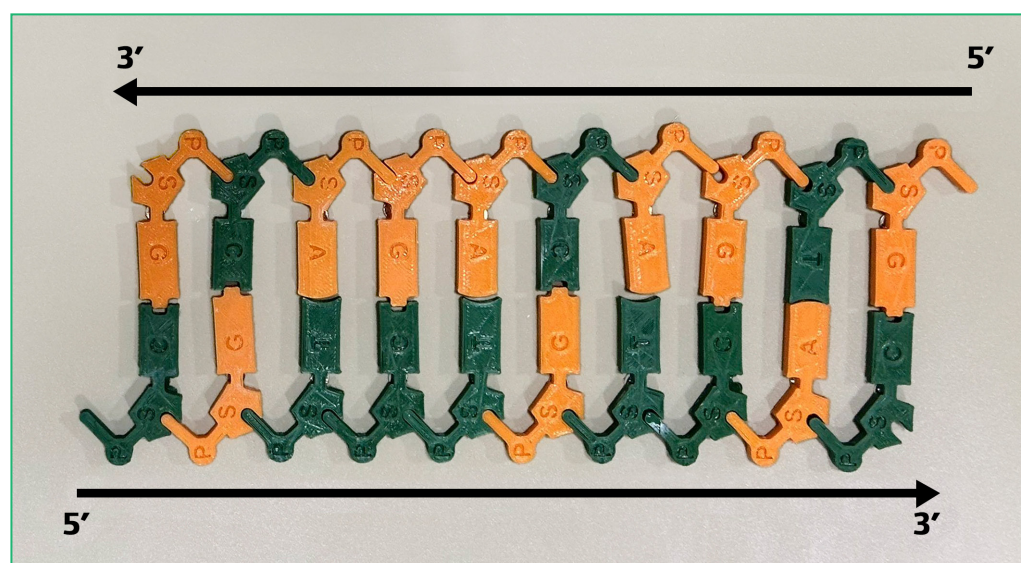


Figura 3.

Dupla-fita de DNA destacando dois aspectos fundamentais da molécula: o pareamento específico entre adenina-timina (A-T) e guanina-citosina (G-C) e a orientação antiparalela das fitas, conforme as extremidades 5' e 3'. Notar que os nucleotídeos foram modelados de forma que o pareamento só seja possível quando as fitas estão orientadas em sentidos antiparalelos.

c) Verificação da aprendizagem

i) Peça para que o grupo reflita, discuta e, então, sistematize respostas às seguintes questões:

- Na década de 50, Erwin Chargaff propôs a seguinte regra: "A quantidade de adenina (A) é igual à de timina (T), e a de citosina (C) é igual à de guanina (G)" no DNA. Com base na montagem da molécula de DNA no grupo, vocês concordam que essa regra é verdadeira e universal? Qual a porcentagem de bases na molécula do grupo?
- Segundo os livros didáticos, o DNA é uma dupla-fita que apresenta complementaridade de bases e está orientada de forma antiparalela. Vocês concordam com a afirmação? Justifiquem com base no modelo construído.

ii) Colete as evidências produzidas pelos grupos e então sistematize a reflexão com a turma toda. Espera-se que eles respondam da seguinte forma:

- Sim, Chargaff estava correto ao propor que as quantidades de timina e adenina eram sempre iguais, enquanto as quantidades de citosina e guanina também eram sempre idênticas. Ao olhar para o nosso modelo, verificamos que o DNA é uma dupla fita e os pareamentos ocorrem entre A e T, C e G. Desta forma, não podemos esperar quantidades diferentes de A e T ou C e G.
- As fitas de DNA são antiparalelas, pois as fitas possuem orientações opostas. Ao observarmos uma única ponta do DNA, é possível ver que a extremidade de uma fita é o carbono 3' enquanto, na outra fita, na complementar, a extremidade é o carbono 5'.

2. Replicação do DNA

Com este material também é possível trabalhar conceitos relacionados à replicação do DNA, incluindo o sentido da replicação, a síntese das fitas contínuas e descontínuas e a importância dos telômeros. Para isso, propomos a seguinte atividade:

a) Divisão dos grupos

Organize a turma em pequenos grupos de 3 a 4 alunos. Cada grupo receberá:

- Um cartão de atividades, o cartão de atividades B (Anexo II);
- Um conjunto de 100 nucleotídeos, composto por 30 contendo adenina, 30 contendo timina, 20 contendo citosina e 20 com guanina;
- Quatro iniciadores (*primers*) de RNA com as seguintes sequências: 5'-UGAC-3', 5'-UCAU-3', 5'-UCA-3', 5'-UCC-3';
- Uma placa de metal.

b) Instruções para a prática

- Os estudantes deverão posicionar, sobre a placa de metal, uma dupla fita de DNA com a seguinte sequência: 5'-TGACCGATGACAGATGAT-TAGGAAA-3' (Figura 4a), respeitando as regras de pareamento entre as bases complementares;
- Seguindo as instruções e pontos-chave descritos no cartão de atividades, os estudantes iniciarão a replicação da fita contínua conforme ilustrado na Figura 4b. Este passo reforça o entendimento de que a DNA polimerase adiciona nucleotídeos no sentido 5'-3', ou seja, sempre às extremidades 3'.
- À medida que as fitas se separam, os *primers* de RNA serão sintetizados pela "enzima primase" (representada

pelos estudantes, conforme indicado no cartão). Com base na Figura 4c, os alunos deverão iniciar a replicação da fita descontínua, formando os fragmentos de Okazaki no sentido oposto à abertura da forquilha de replicação;

- O grupo deverá realizar a replicação completa das duas fitas de DNA até alcançar a situação final (Figura 5). No entanto, ao chegar à situação ilustrada na referida figura, eles perceberão que um segmento da extremidade de uma das fitas de DNA não foi replicado. Esse fenômeno ocorre devido à limita-

ção estrutural das DNA polimerases, que não conseguem completar a replicação da extremidade 5' da fita recém-sintetizada. Essa observação deverá introduzir a discussão sobre a importância dos telômeros, regiões terminais do DNA que protegem os cromossomos contra a perda progressiva de trechos de DNA nas extremidades cromossômicas a cada ciclo de replicação. Além disso, pode-se abordar a atuação da enzima telomerase, essencial para a manutenção da integridade genômica em células com alta taxa de divisão.

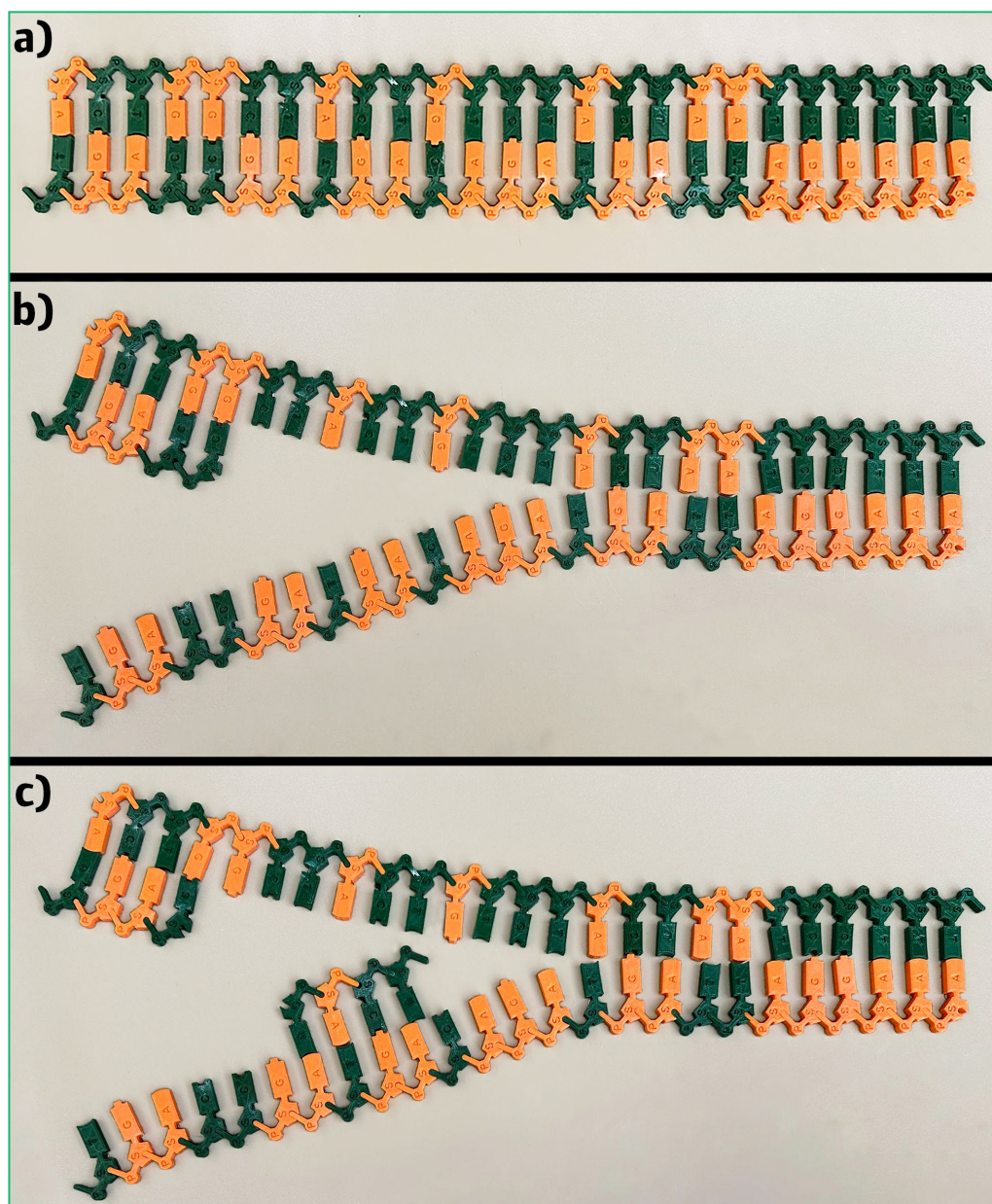
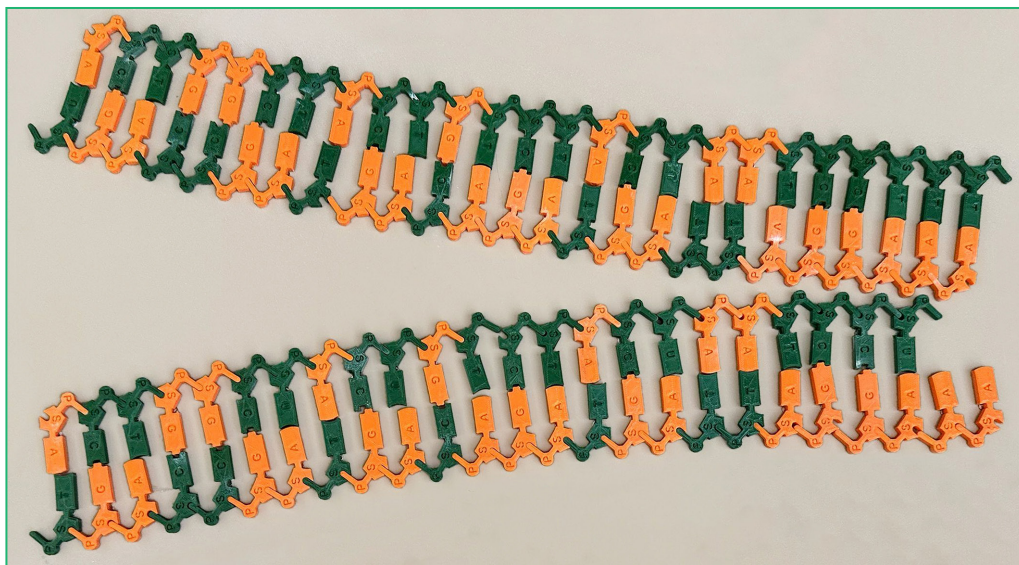


Figura 4.

Representação do processo de replicação do DNA. **(a)** Fita dupla original de DNA, formada por nucleotídeos complementares (verde e laranja), representando as cadeias antiparalelas. **(b)** Início da separação das fitas de DNA pela ação da helicase, formando a forquilha de replicação. **(c)** Progressão da replicação com a síntese da fita contínua no sentido 5' → 3' e a formação dos fragmentos de Okazaki na fita descontínua, evidenciando o processo assimétrico da replicação do DNA nas duas fitas.

**Figura 5.**

Representação da replicação incompleta do DNA. As fitas verde e laranja representam as cadeias complementares do DNA após o processo de replicação. Note que, devido à limitação estrutural das DNA polimerases, a extremidade da fita descontínua não foi completamente replicada, evidenciando a importância dos telômeros na proteção contra a perda de informação genética e da telomerase para atuar em um mecanismo específico de alongamento da fita (não representado no modelo), compensando a perda de nucleotídeos nas extremidades cromossômicas.

c) Verificação da aprendizagem

i) Peça que o grupo reflita, discuta e sistematize uma resposta à seguinte questão:

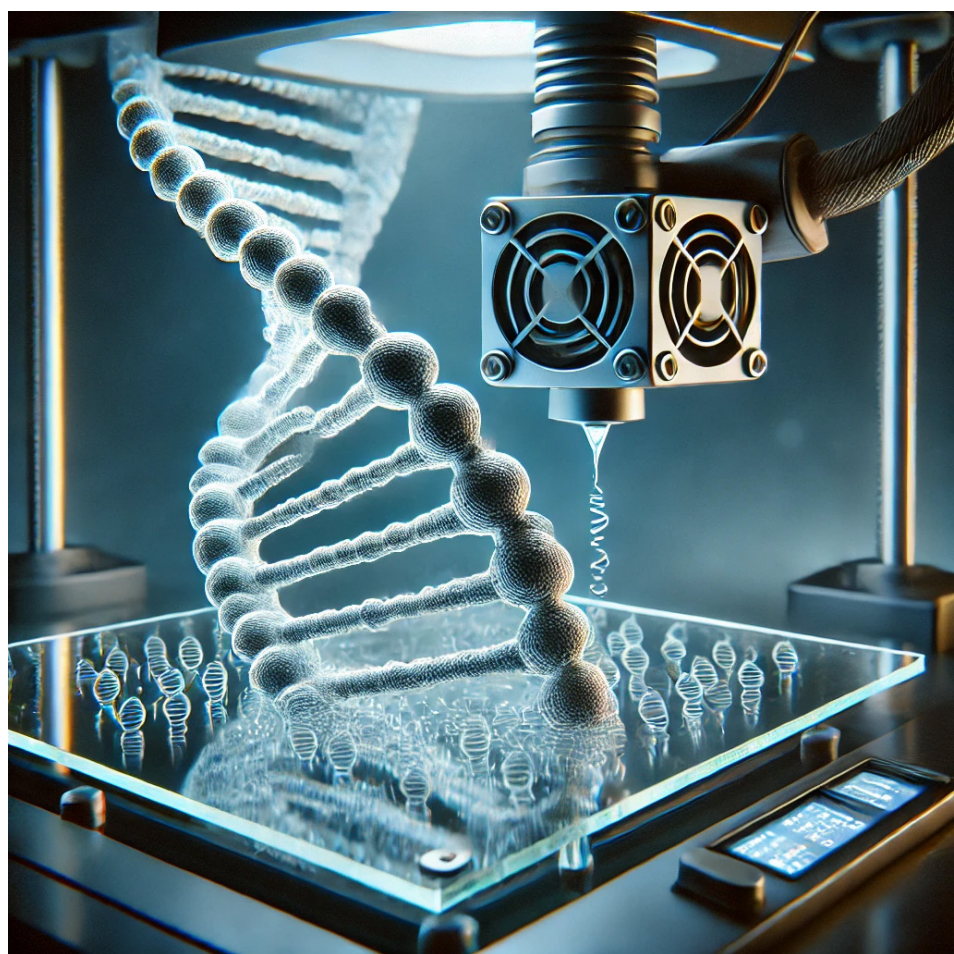
- Se a DNA polimerase só consegue adicionar novos nucleotídeos na ponta 3' da fita de DNA, as novas moléculas de DNA formadas serão idênticas à molécula original?

ii) Colete as evidências produzidas pelos grupos e então sistematize a reflexão com a turma toda. Espera-se que eles respondam da seguinte forma:

- Não. Ao observar o nosso modelo de replicação, verificamos que uma das extremidades não terá o seu DNA replicado por completo. Isso é potencialmente um problema significativo, pois a cada ciclo de duplicação do DNA, a célula perde pedaços de DNA das extremidades.

Agradecimentos

Os autores expressam sua gratidão a Massao Kodama Dourado pelo auxílio e expertise na modelagem 3D dos nucleotídeos descritos neste trabalho.



Anexo I - Cartão de atividades A

Estrutura e organização do material genético

Quando pensamos em Genética Molecular, uma das primeiras palavras que nos vem à cabeça é “DNA”. De fato, a molécula do DNA é central nos estudos da área e a descoberta da sua estrutura como a conhecemos hoje ocorreu apenas em **1953**. Isso mostra que pessoas de duas ou três gerações antes de nós sequer tiveram a possibilidade de conhecer a estrutura do DNA quando em idade escolar, muito menos saber da sua importância.

Cada grupo está recebendo um conjunto de peças para a montagem de representações do material genético de todos os seres vivos do nosso planeta. O objetivo dessa prática é que vocês **conheçam os principais (e poucos) componentes da molécula da vida, bem como percebam os tipos de ligação existentes entre os componentes e a forma como se organizam nas células.**

Instruções para a prática

1. Encaixem as peças conforme vocês julgarem correto, de acordo com os conhecimentos prévios que vocês têm;
 - 1.1. Atentem-se à composição dos nucleotídeos – um grupo fosfato (P), uma pentose com cinco carbonos (S) e uma base nitrogenada (A, T, C ou G), bem como as extremidades 3' e 5' do açúcar;
2. Ao final da montagem, apontem os diferentes tipos de ligações que existem na molécula e as principais estruturas.

Ao final da prática, vocês deverão ter montado uma molécula de DNA, anotado as principais características observadas e responder às seguintes perguntas:

1. Na década de 50, Erwin Chargaff propôs a seguinte regra: "A quantidade de adenina (A) é igual à de timina (T), e a de citosina (C) é igual à de guanina (G)" no DNA. Com base na montagem da molécula de DNA no grupo, vocês concordam que essa regra é verdadeira e universal? Qual a porcentagem de bases na molécula do grupo?
2. Segundo os livros didáticos, o DNA é uma dupla-fita que apresenta complementaridade de bases e está orientada de forma antiparalela. Vocês concordam com a afirmação? Justifiquem com base no modelo construído.

Anexo II - Cartão de atividades B

Replicação do DNA

A replicação do DNA é um processo altamente controlado e essencial para a manutenção da integridade genética em todos os organismos vivos. Esse processo envolve uma série de enzimas e complexos moleculares que trabalham de forma coordenada para garantir a cópia fiel do material genético. A compreensão detalhada da replicação é fundamental não apenas para entender como mutações e alterações genéticas podem surgir e impactar o ciclo de vida de um ser vivo, mas também para fornecer uma base teórica sólida para técnicas amplamente utilizadas na Biologia Molecular, como a PCR e o sequenciamento de DNA.

A replicação pode ser resumida da seguinte forma: **as fitas complementares de DNA são separadas e novos nucleotídeos são adicionados à ponta 3'OH de cada uma das fitas recém-sintetizada, conforme a complementaridade com a fita-molde.**

Pontos-chave

1. Origem da replicação

- A replicação se inicia em um local específico dos cromossomos chamado origem de replicação, onde as pontes de hidrogênio entre os pares de bases complementares (aproximadamente 250 nucleotídeos) são rompidas, permitindo a separação das fitas de DNA.

2. Função da DNA polimerase

- A enzima DNA polimerase é responsável por adicionar novos nucleotídeos à fita em crescimento, mas ela tem algumas limitações:
 - Não consegue iniciar a síntese sozinha, pois precisa de uma extremidade 3'OH livre de um nucleotídeo para adicionar um novo.
 - Só consegue adicionar novos nucleotídeos em uma extremidade 3'OH livre, mas nunca numa extremidade 5'OH livre, limitando o sentido da replicação ao alongamento no sentido 5' → 3'.

3. Papel dos primers

- *Primers* são pequenos fragmentos de RNA sintetizados por uma enzima chamada primase, que criam as extremidades 3'OH necessárias para que a DNA polimerase inicie a síntese da nova fita. No material que vocês estão recebendo, são incluídos os seguintes *primers*: 5'-UGAC-3', 5'-UCAU-3', 5'-UCA-3', 5'-UCC-3'

Instruções para a prática

1. Posicionem, sobre a placa de metal, uma dupla fita de DNA com a sequência **5'-TGACCGATGACAGATGATTAGGAAA-3'**, respeitando as regras de pareamento de bases complementares;
2. Iniciem a replicação a partir de uma das extremidades da molécula, utilizando um dos *primers* fornecidos;
3. Deem continuidade à replicação usando os outros *primers*;
4. Finalizem a replicação até obterem duas moléculas de DNA, o mais completas possível.

Ao final da prática, vocês deverão ter replicado uma molécula de DNA e responder à seguinte pergunta:

1. Se a DNA polimerase só consegue adicionar novos nucleotídeos na ponta 3' da fita de DNA, as novas moléculas de DNA formadas serão idênticas à molécula original?