

# Uno das bases nitrogenadas: recurso didático para o ensino do emparelhamento de bases e mutações pontuais

Ana Thaila Rodrigues Felix<sup>1</sup>, Priscila Barreto de Jesus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Juazeiro, BA

<sup>2</sup>Universidade Federal do ABC, Centro de Ciências Naturais e Humanas, São Bernardo do Campo, SP

Autor para correspondência – priscila.jesus@ufabc.edu.br

**Palavras-chave:** DNA, jogos didáticos, nucleotídeo, purinas, pirimidinas, replicação

O Uno das Bases Nitrogenadas é um jogo que pretende facilitar o ensino da estrutura dos nucleotídeos no DNA, com foco nas bases nitrogenadas e seu emparelhamento, além de trabalhar fundamentos das mutações pontuais de substituição de nucleotídeo único. A aplicação deste material didático é recomendada desde o ensino médio até disciplinas da graduação nas áreas da Biologia, de acordo com o nível de complexidade trabalhado previamente em sala de aula.

Mutações são alterações permanentes no DNA, ou seja, hereditárias, que modificam a sequência de bases nitrogenadas. Tais alterações podem envolver desde mudanças em um único par de bases até modificações em grandes regiões do DNA, incluindo cromossomos como um todo (mutações estruturais e numéricas). No jogo Uno das Bases Nitrogenadas são trabalhadas mutações que envolvem a substituição de um único par de bases (transição e transversão). Esse tipo de mutação pontual pode resultar do mau funcionamento do sistema de replicação, inserindo uma base incorreta na fita de DNA que está sendo sintetizada. Durante a replicação, a maioria das DNA polimerases fazem a revisão do seu trabalho a cada base que acrescentam. Se a polimerase detecta que um nucleotídeo errado foi adicionado, ela há de removê-lo e substituí-lo imediatamente (reparo), antes de continuar a síntese de DNA. No entanto, se a base incorretamente emparelhada não for detectada e substituída, as alterações podem persistir após a replicação, causando as mutações.

Apesar de ser um tema presente no cotidiano dos alunos, discutido em sala de aula em todos os níveis e até bastante visto em jornais e revistas, a compreensão do processo de mutação ainda é difícil para a maioria dos estudantes. Além de exigir conhecimento prévio a respeito da estrutura dos nucleotídeos, replicação e reparo do DNA, o entendimento das mutações gênicas esbarra numa abordagem geralmente expositiva, que dificulta a aprendizagem do tema. No jogo Uno das Bases Nitrogenadas, os alunos atuarão simulando a ação da enzima DNA polimerase, incorporando os nucleotídeos durante o processo de replicação. Além disso, ao trabalhar as consequências do emparelhamento errô-

neo, os alunos compreenderão que o processo não é linear, havendo possibilidade de reparo, e que transições e transversões ocorrem em taxas distintas. Utilizando-se do layout e regras de um jogo mundialmente conhecido (Mattel Inc.), espera-se que o contato com as cartas reforce a compreensão do tema e leve os alunos à aprendizagem significativa de maneira divertida.

## Instruções para o(a) professor(a)

Recomenda-se que o jogo seja aplicado após aulas teóricas sobre a estrutura dos nucleotídeos, o processo de replicação e mutações. O(A) professor(a) poderá imprimir o material previamente e solicitar que os alunos fiquem responsáveis por recortar as cartas do jogo a fim de que se familiarizem com as mesmas e relembrem os conteúdos vistos em aula teórica. A turma pode ser dividida em grupos de dois até cinco jogadores, além de um moderador, e cada partida poderá variar de 20 a 40 minutos, de acordo com o número de participantes e as questões levantadas pelo(a) professor(a), podendo ser adaptada aos horários de aula. Antes de iniciar a atividade, o(a) professor(a) deverá entregar o material a cada grupo e solicitar que o(a)s aluno(a)s leiam a ficha de instruções do jogo e tirem possíveis dúvidas a respeito da dinâmica.

No entanto, após iniciada a partida, sugere-se que o(a) professor(a) não solucione as problemáticas que surgirem, mas que oriente cada grupo na construção do conhecimento por conta própria. Caso a dúvida não seja sanada dessa forma, o grupo poderá anotar as questões para discutir com o restante da turma após o fim da aplicação da atividade.

Por fim, para avaliação da aprendizagem, recomenda-se a aplicação de questões a cada grupo, que posteriormente devem ser discutidas com toda a turma.

Seguem alguns exemplos de questões que podem ser aplicadas, a depender do nível de complexidade do tema abordado:

**Questão 1.** Quais são os componentes de um nucleotídeo?

**Questão 2.** Quais são as bases nitrogenadas púricas e pirimídicas? Quais as principais diferenças entre os dois tipos?

**Questão 3.** Sabendo que um trecho de uma cadeia de DNA apresenta a sequência de bases 5'-GTAGCCAAGG-3', qual a sequência do mesmo trecho da fita complementar?

**Questão 4.** O que é e como se origina uma mutação pontual?

**Questão 5.** Diferencie as mutações pontuais do tipo transição das mutações do tipo transversão.

**Questão 6.** Quantas possibilidades existem nas mutações do tipo transição e transversão? Liste-as.

**Questão 7.** Qual a relação entre os raios ultravioleta (UV) e a indução de mutações?

**Questão 8.** Durante o jogo, ao cometer erros de emparelhamento, na maioria das vezes ocorre reparo do DNA em vez de transições e transversões. Explique por que isso ocorre.

## Instruções para os estudantes

### 1. Descrição do material

O jogo é composto por 138 cartas, sendo:

Cartas de ação:

- ♦ 20 cartas Adenina: 05 de cada cor (imprimir 5x)
- ♦ 20 cartas Timina: 05 de cada cor (imprimir 5x)

- ♦ 20 cartas Guanina: 05 de cada cor (imprimir 5x)
- ♦ 20 cartas Citosina: 05 de cada cor (imprimir 5x)

Cartas especiais:

- ♦ 08 cartas +2 (Comprar duas cartas): 02 de cada cor (imprimir 1x)
- ♦ 08 cartas Inverte: 02 de cada cor (imprimir 1x)
- ♦ 04 cartas Bloqueio (imprimir 1x)
- ♦ 04 cartas Curinga (imprimir 1x)
- ♦ 04 cartas Curinga +4 (Comprar quatro cartas) (imprimir 1x)
- ♦ 04 cartas Transição (imprimir 1x)
- ♦ 04 cartas Transversão (imprimir 1x)
- ♦ 22 cartas Reparo do DNA (imprimir 1x)

### 2. Dinâmica do jogo

Os alunos atuarão como a enzima DNA polimerase, incorporando os nucleotídeos (cartas) na fita de DNA de acordo com a complementaridade das bases nitrogenadas. Vencerá o jogador que ficar sem nenhuma carta na mão primeiro, e este deverá utilizar todos os meios possíveis para impedir que os outros jogadores façam o mesmo.

#### Preparação

- ♦ Cada grupo deverá definir quem será o mediador, que ficará responsável por verificar os emparelhamentos errôneos. Em caso de turmas pequenas, o(a) próprio(a) professor(a) poderá se encarregar de mediar todos os grupos.
- ♦ Criar duas pilhas de **CARTAS CONSEQUÊNCIA** (vide ficha de instruções) viradas para baixo: uma com 11 cartas Reparo e 04 cartas Transição (recomenda-se imprimir em papel colorido ou identificar o verso destas cartas como TRANSIÇÃO), e outra com mais 11 cartas Reparo e 04 cartas Transversão (recomenda-se imprimir em papel colorido ou identificar o verso destas cartas como TRANSVERSÃO).

- ♦ O mediador deverá embaralhar as outras cartas (**CARTAS DE AÇÃO + CARTAS ESPECIAIS**) e distribuir 07 para cada jogador. As cartas restantes devem ser viradas para baixo, formando a pilha de **COMPRAS**.
- ♦ A carta superior da pilha de **COMPRAS** deve ser virada para cima servindo de base para que o jogo comece, ou seja, iniciando a **fitas de DNA**. Os jogadores atuarão como a DNA polimerase, incorporando os nucleotídeos (cartas) na fita de DNA de acordo com a complementaridade das bases nitrogenadas.

Observação: Se qualquer uma das **CARTAS ESPECIAIS** for virada para dar início à pilha de **DESCARTE**, consulte as funções das mesmas para ler instruções.

### Jogando

1. O jogador que estiver à esquerda do mediador começa o jogo, que seguirá em sentido horário.
2. Na sua vez, você deve combinar uma carta da sua mão com a carta do nucleotídeo que está no alto da pilha da fita de DNA, de acordo com a complementaridade das bases. Exemplo: Se for jogada uma **TI-MINA** verde, o próximo poderá jogar uma **ADENINA** verde, vermelha, azul ou amarela, ou seja, os pares podem ser formados utilizando cores diferentes.
3. Caso o jogador não tenha a base complementar, ele poderá jogar uma base não complementar, criando um emparelhamento errôneo. Neste caso, ele deverá pegar uma **CARTA CONSEQUÊNCIA** na pilha correspondente ao tipo de mutação que foi criada (transição ou transversão) e que irá indicar se o erro no emparelhamento foi reparado ou não. Se o erro for reparado (carta reparo), ele continua a jogada; no entanto, as cartas de transição e transversão punem o jogador que causar uma mutação no DNA que não for reparada (ver **CARTAS ESPECIAIS**).
4. Ao jogar a penúltima carta, o jogador deverá gritar “DNA” para indicar que só tem

uma carta na mão. Caso não grite e os outros percebam antes do próximo começar a jogar, o jogador pode ser penalizado com a compra de duas cartas da pilha de compras. A rodada termina quando um dos jogadores zerar as cartas da mão.

### Regra extra

(para turmas de cursos de graduação)

5. Quando a mutação criada for um dímero de pirimidinas (timina com timina, timina com citosina e vice-versa), independentemente da cor, todos os jogadores deverão colocar a mão em cima da pilha de descarte e o último a colocar a mão deverá comprar duas cartas da pilha de compras.

O jogo tem algumas cartas especiais que o tornam mais dinâmico e auxiliam na fixação de conceitos relacionados ao tema. Abaixo estão listadas as funções das **CARTAS ESPECIAIS**:

- ♦ **Carta +2 (Comprar duas cartas):** o jogador poderá jogá-la respeitando a cor da carta anterior. O próximo jogador deverá pegar duas cartas do monte e perder a vez.
- ♦ **Carta Inverte:** O uso da carta inverso deverá obedecer a cor da carta anterior, e o seu uso irá ocasionar a mudança no sentido do jogo (se estiver indo para a esquerda, muda para a direita e vice-versa).
- ♦ **Carta Bloqueio:** A luz UV irá bloquear a replicação. Assim, o jogador seguinte perderá a vez. Esta carta deve ser jogada obedecendo a cor da carta anterior.
- ♦ **Carta Curinga:** Esta carta possui as quatro bases nitrogenadas e poderá ser jogada em qualquer momento do jogo, independentemente da cor da carta anterior. O jogador, então, poderá escolher uma cor ou a próxima base a ser jogada.
- ♦ **Carta +4 (Comprar quatro cartas):** O jogador também poderá jogá-la independentemente da carta anterior, dando-lhe o poder de escolher a cor das próximas cartas, além de fazer com que o próximo jogador pegue 4 cartas do monte de compras.

- ♦ **Carta Reparo do DNA** (monte CONSEQUÊNCIAS): Indica que o erro no emparelhamento foi reparado pela DNA polimerase e que o jogador que incorporou o nucleotídeo errado pode continuar a jogada.
- ♦ **Carta Transição** (monte CONSEQUÊNCIAS): A transição ocorre quando há substituição de base uma pirimídica por outra pirimídica (ex: Timina → Citosina e vice-versa), ou de uma base púrica por outra púrica (ex: Adenina → Guanina e vice-versa). O jogador que causou a mutação do tipo transição deve pegar +2 cartas da pilha de compras.
- ♦ **Carta de Transversão** (monte CONSEQUÊNCIAS): A transversão ocorre quando bases pirimídicas são substituídas por bases púricas ou quando bases púricas são substituídas por bases pirimídicas (ex: Timina → Adenina, Timina → Guanina, Citosina → Adenina, Citosina → Guanina e vice-versa). O jogador que causar a mutação do tipo transversão deverá pegar +4 cartas da pilha de compras.

## Respostas

**Questão 1.** O nucleotídeo é um conjunto formado pela associação de 3 moléculas, uma base nitrogenada, um grupamento fosfato e um glicídio do grupo das pentoses.

**Questão 2.** As bases púricas são adenina e guanina, e as pirimídicas são timina e citosina. No RNA temos a uracila, que é uma base pirimídica. As bases púricas são estruturas de duplo anel, enquanto as bases pirimídicas apresentam anel simples.

**Questão 3.** 3'-CATCGGTTCC-5'

**Questão 4.** Por vezes, a enzima DNA polimerase insere nucleotídeos incorretos durante a síntese de uma nova fita de DNA. Caso não sejam detectados e corrigidos pelos mecanismos de reparo do DNA pelas DNA-polimerases no sentido 3'→5',

os nucleotídeos incorporados de forma errônea podem persistir após a replicação e causar mutações. Os erros de replicação oriundos de maus emparelhamentos originam mutações pontuais.

**Questão 5.** A substituição de uma purina por outra purina ou de uma pirimidina por outra pirimidina é chamada de transição, e a substituição de uma purina por uma pirimidina, ou vice-versa, é chamada de transversão.

**Questão 6.** Existem quatro possibilidades de transição (Timina → Citosina, Citosina → Timina, Adenina → Guanina, Guanina → Adenina) e oito possibilidades de transversão (Timina → Adenina, Timina → Guanina, Citosina → Adenina, Citosina → Guanina, Adenina → Timina, Guanina → Timina, Adenina → Citosina, Guanina → Citosina)

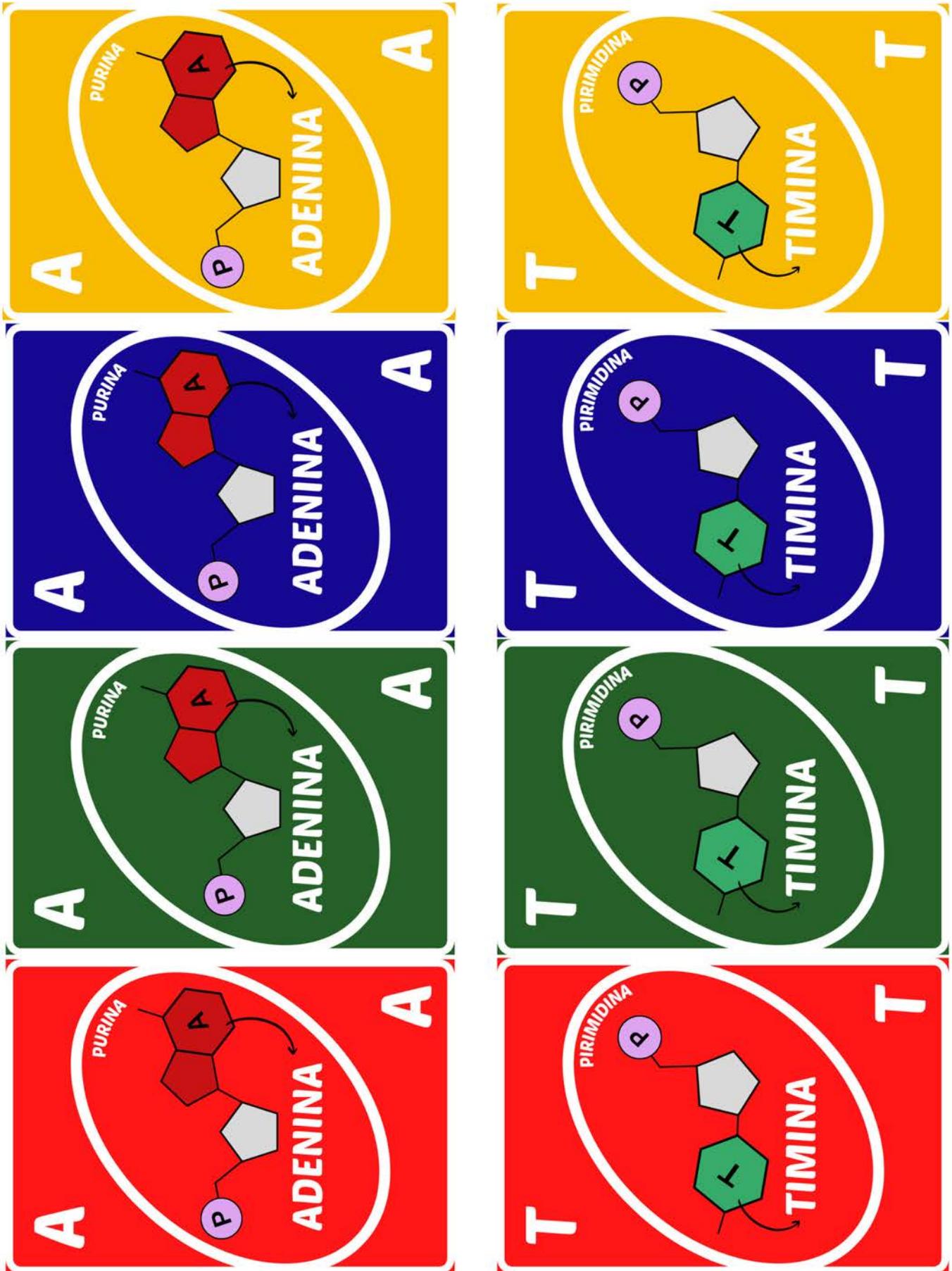
**Questão 7.** Os raios UV são absorvidos principalmente por pirimidinas, que ficam mais reativas, e podem formar dímeros entre pirimidinas adjacentes (dímeros de pirimidinas). Estes dímeros podem alterar a dupla hélice do DNA, interferindo na replicação precisa da molécula, além de provocar erros durante o reparo do DNA danificado.

**Questão 8.** O processo de replicação do DNA apresenta fidelidade extremamente alta. Além disso, vários mecanismos de reparo do DNA atuam de forma sequencial para corrigir qualquer pareamento incorreto que possa ter ocorrido. Assim, erros aleatórios nas sequências nucleotídicas ocorrem muito raramente.

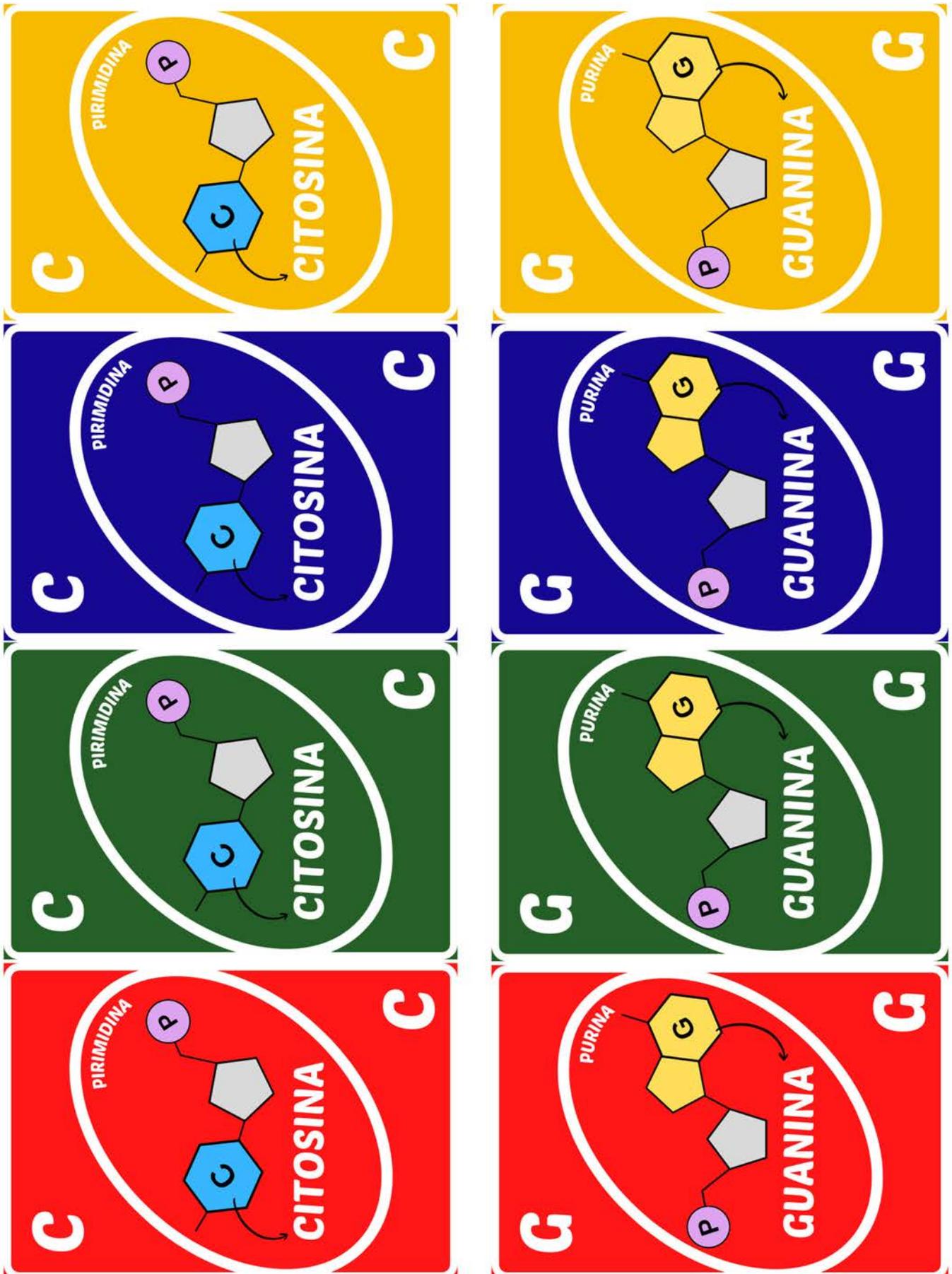
## Agradecimento

À Pró-Reitoria de Extensão da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), pela bolsa de monitoria concedida ao projeto Utilização de modelos e jogos didáticos para facilitação da aprendizagem de Biotecnologia no Ensino Médio.

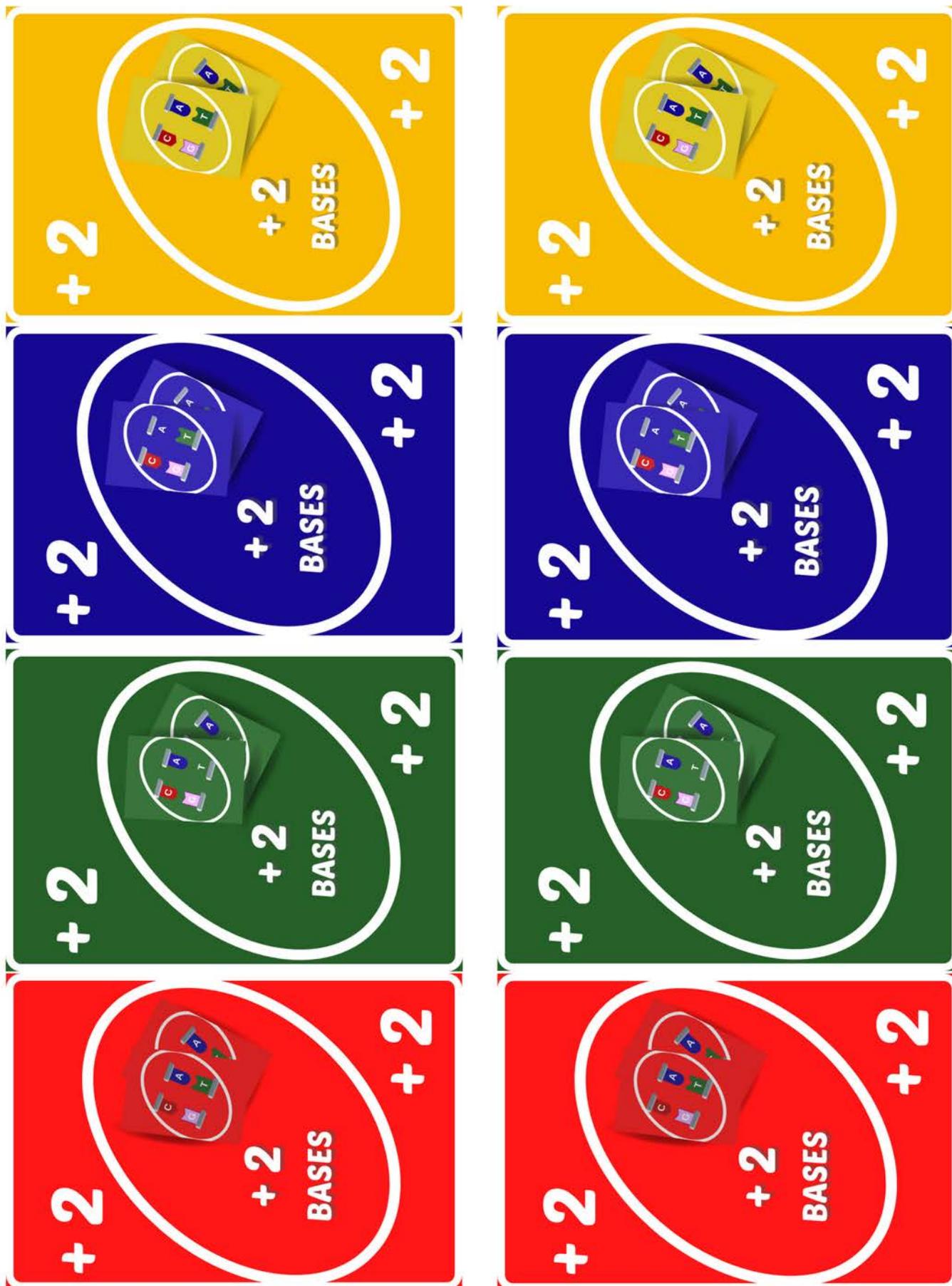
Anexo. Cartas de Ação e Cartas Especiais  
 Cartas Adenina e Timina



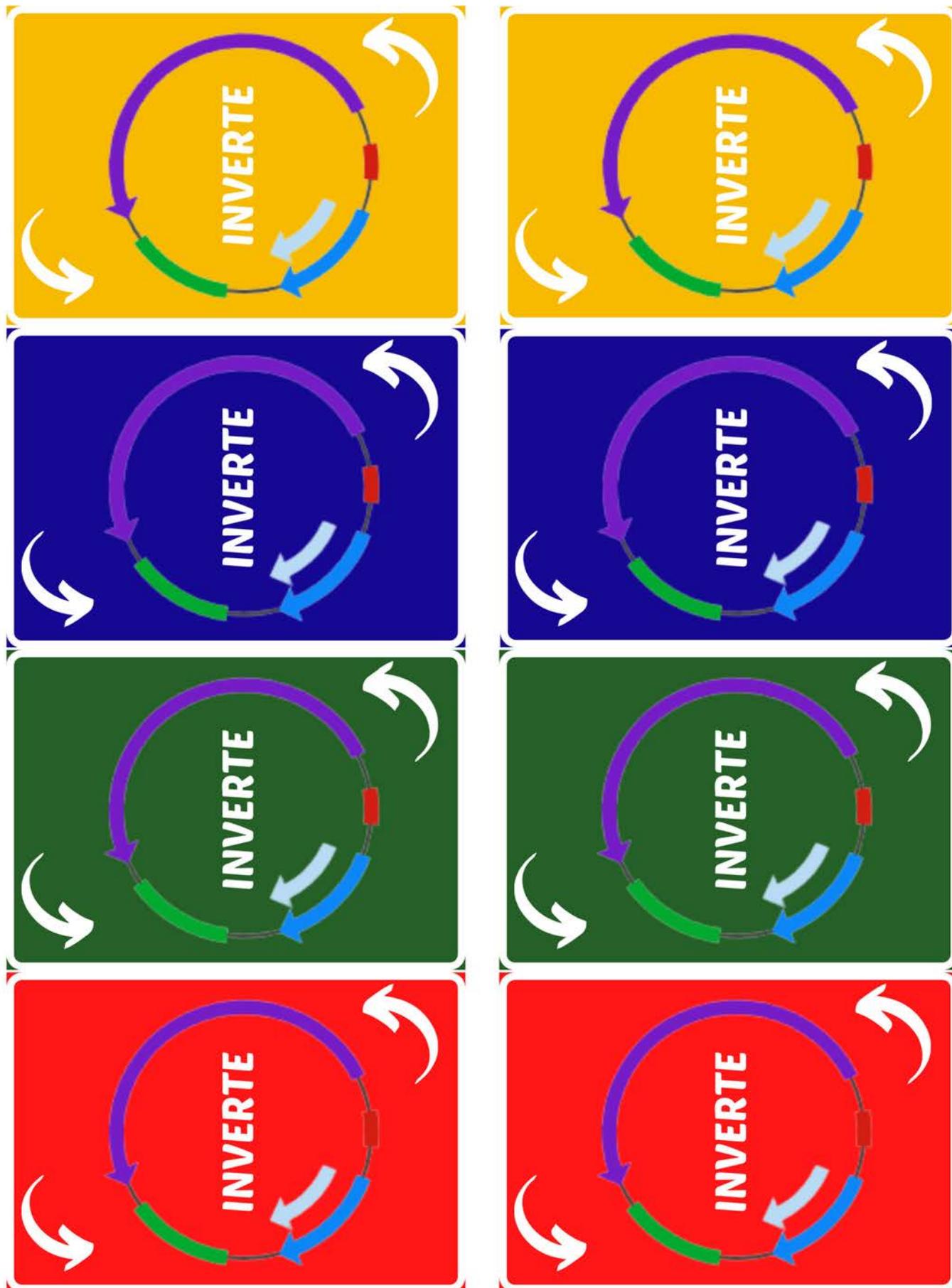
Cartas Citosina e Guanina



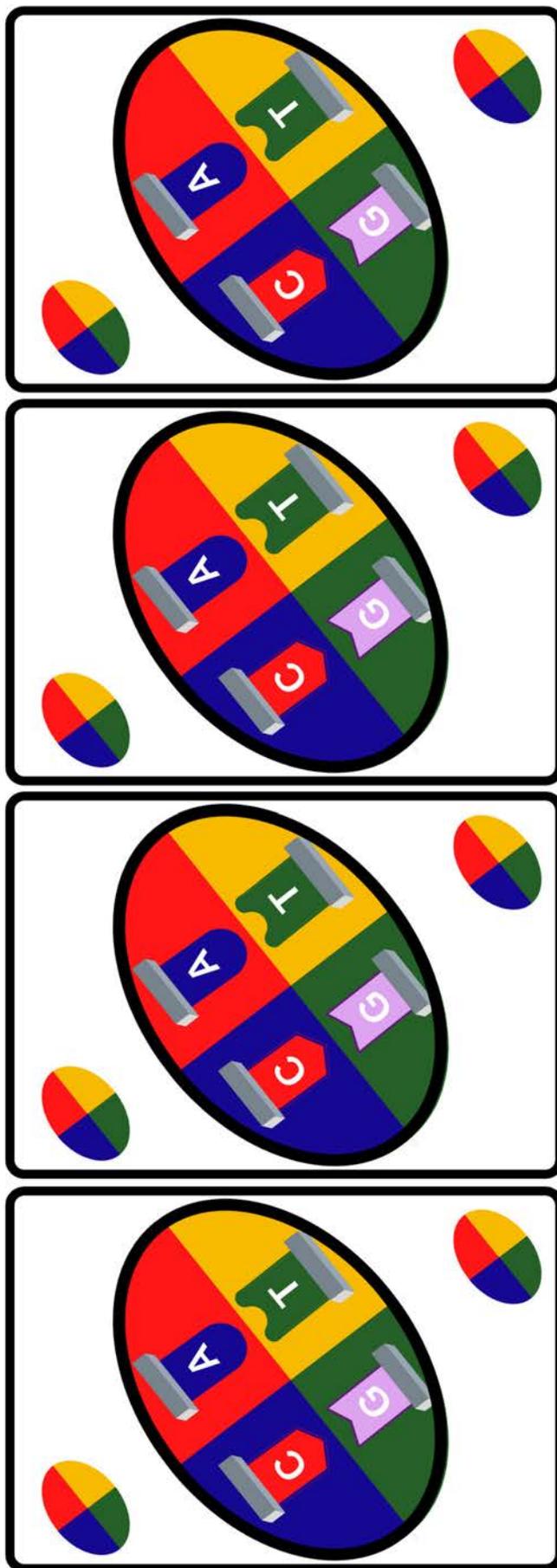
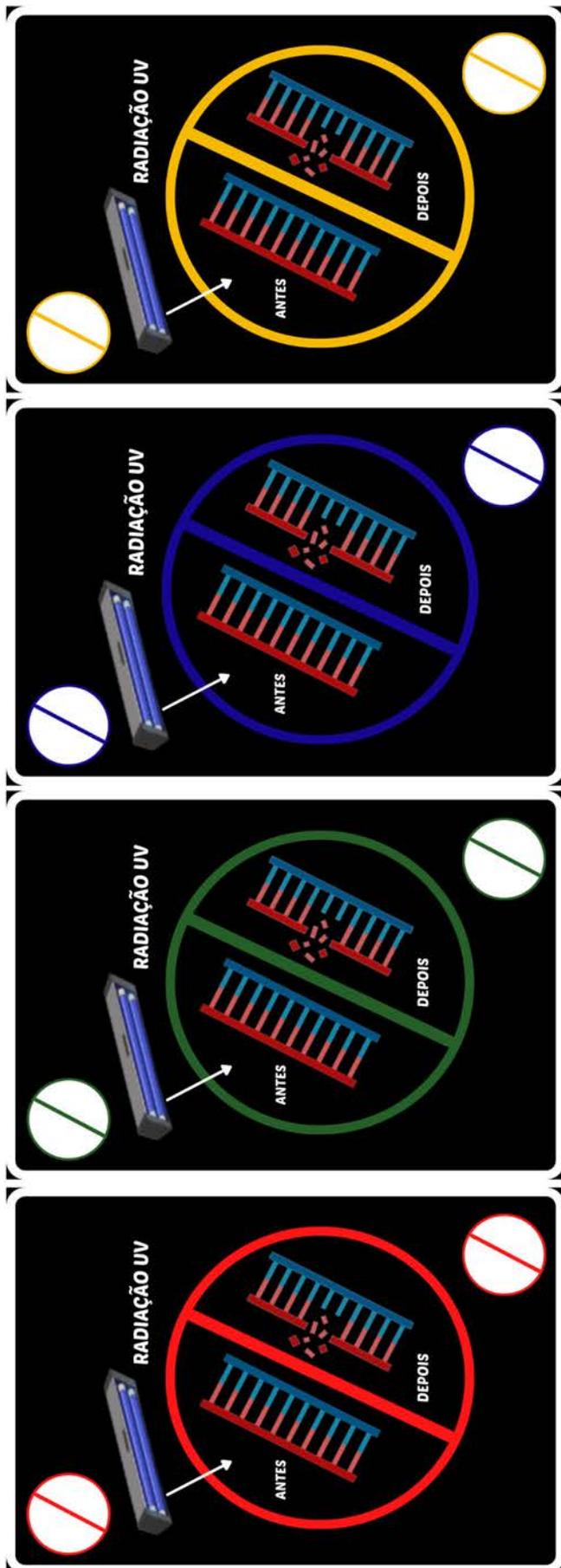
Cartas 2+



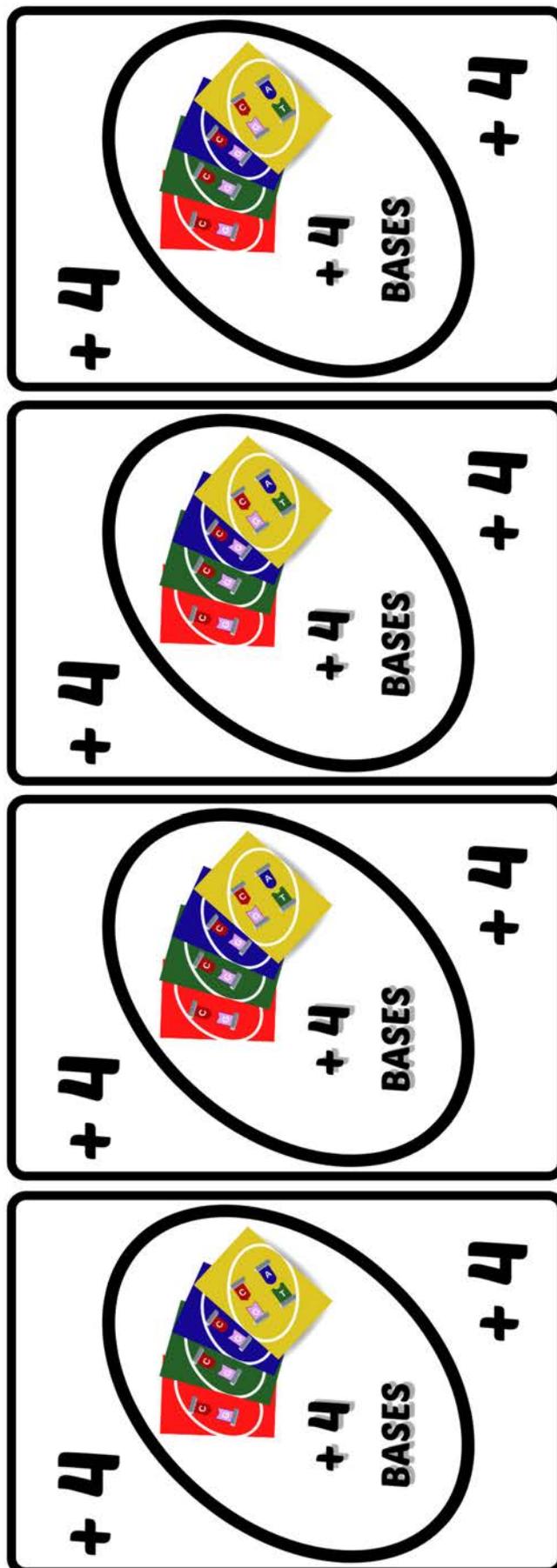
Cartas Inverte



Cartas Bloqueio e Cura



Cartas Curinga 4+



Cartas Transição e Transversão

Você causou uma transição. Pegue +2 cartas!

**A** ↔ **G**  
**T** ↔ **C**

Você causou uma transição. Pegue +2 cartas!

**A** ↔ **G**  
**T** ↔ **C**

Você causou uma transição. Pegue +2 cartas!

**A** ↔ **G**  
**T** ↔ **C**

Você causou uma transição. Pegue +2 cartas!

**A** ↔ **G**  
**T** ↔ **C**

Você causou uma transversão. Pegue +4 cartas!

**A** ↔ **G**  
**T** ↔ **C**

Você causou uma transversão. Pegue +4 cartas!

**A** ↔ **G**  
**T** ↔ **C**

Você causou uma transversão. Pegue +4 cartas!

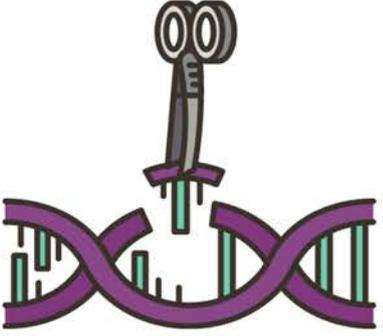
**A** ↔ **G**  
**T** ↔ **C**

Você causou uma transversão. Pegue +4 cartas!

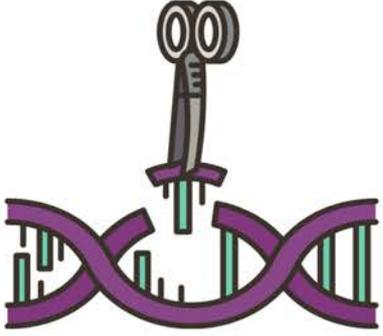
**A** ↔ **G**  
**T** ↔ **C**

Cartas Reparo do DNA

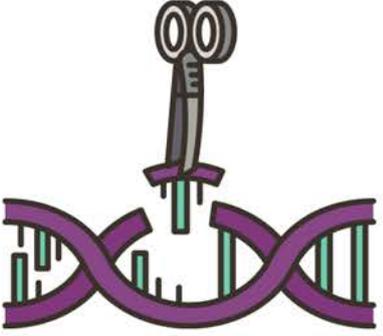
**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**

A diagram of a purple DNA double helix. A pair of scissors is positioned to cut a segment of the top strand. The cut is shown as a gap in the strand.

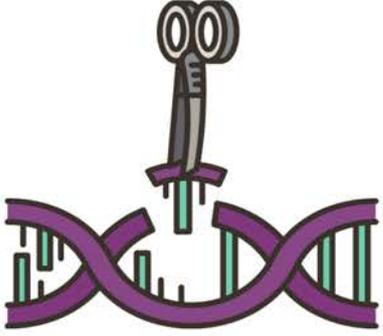
**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**

A diagram of a purple DNA double helix. A pair of scissors is positioned to cut a segment of the top strand. The cut is shown as a gap in the strand.

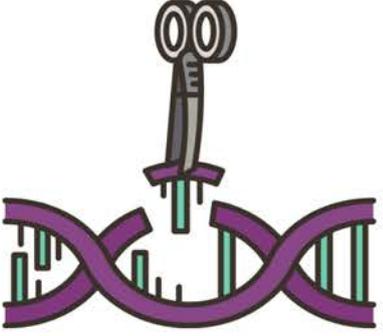
**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**

A diagram of a purple DNA double helix. A pair of scissors is positioned to cut a segment of the top strand. The cut is shown as a gap in the strand.

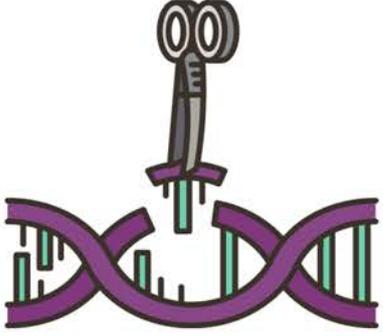
**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**

A diagram of a purple DNA double helix. A pair of scissors is positioned to cut a segment of the top strand. The cut is shown as a gap in the strand.

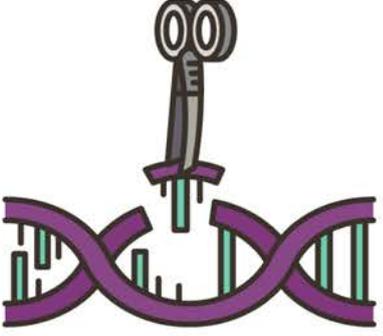
**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**

A diagram of a purple DNA double helix. A pair of scissors is positioned to cut a segment of the top strand. The cut is shown as a gap in the strand.

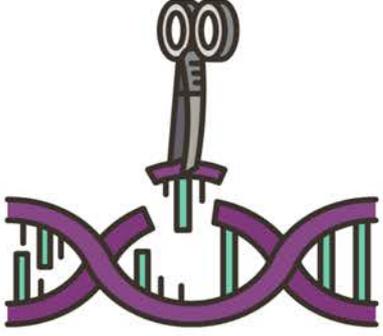
**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**

A diagram of a purple DNA double helix. A pair of scissors is positioned to cut a segment of the top strand. The cut is shown as a gap in the strand.

**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**

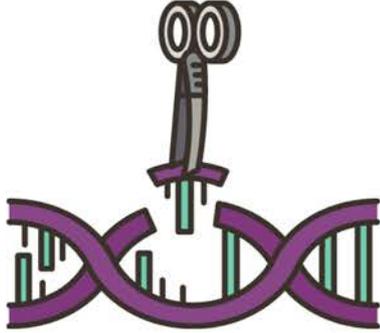
A diagram of a purple DNA double helix. A pair of scissors is positioned to cut a segment of the top strand. The cut is shown as a gap in the strand.

**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**

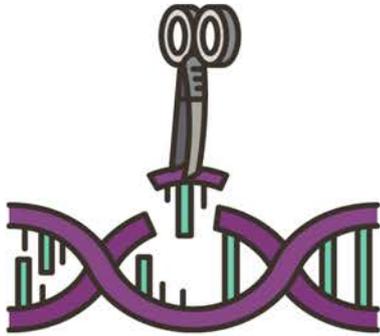
A diagram of a purple DNA double helix. A pair of scissors is positioned to cut a segment of the top strand. The cut is shown as a gap in the strand.

## Cartas Reparo do DNA

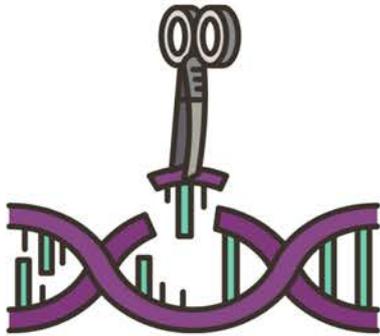
**A mutação foi  
reparada.  
Continue a jogada!**



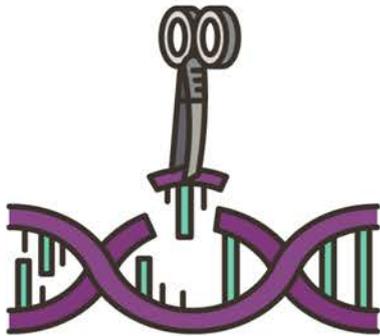
**A mutação foi  
reparada.  
Continue a jogada!**



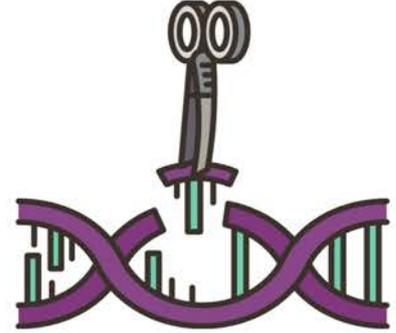
**A mutação foi  
reparada.  
Continue a jogada!**



**A mutação foi  
reparada.  
Continue a jogada!**



**A mutação foi  
reparada.  
Continue a jogada!**



**A mutação foi  
reparada.  
Continue a jogada!**



**A mutação foi  
reparada.  
Continue a jogada!**

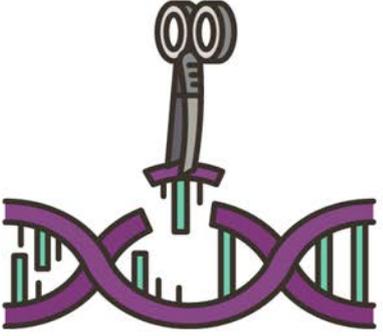


**A mutação foi  
reparada.  
Continue a jogada!**

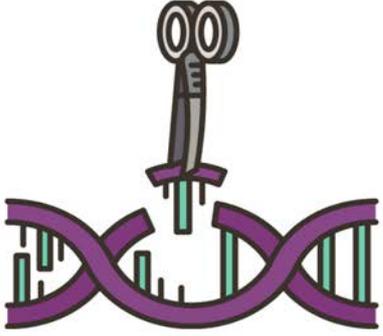


Cartas Reparo do DNA

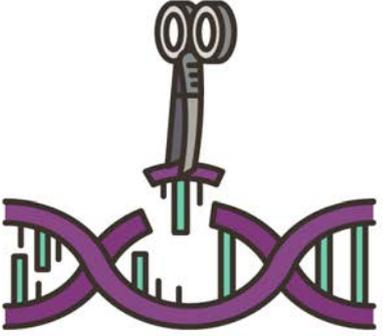
**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**



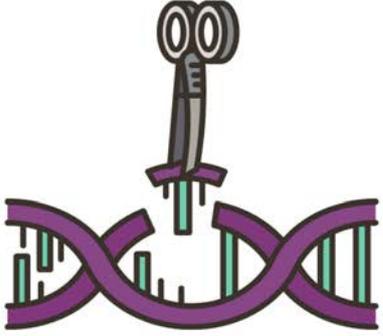
**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**



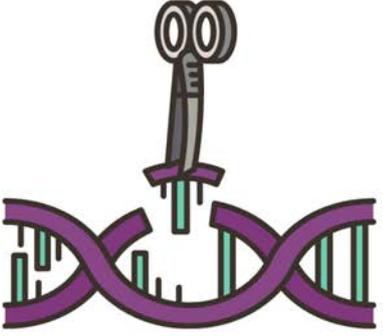
**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**



**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**



**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**



**A mutação foi reparada.  
Continue a jogada!**

