



“Tá ligado?” Uma forma lúdica de aprender Ligação Gênica


Bruno Rafael Santos de Cerqueira¹, Iderval da Silva Júnior Sobrinho¹ e Andréa Cristina Peripato²

¹ Departamento de Genética e Evolução, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP

² Departamento de Biociências, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), Santos, SP

Autor para correspondência: peripato@unifesp.br

Palavras-chave: recurso didático, extensões às leis de Mendel, genética, segregação independente, jogo, ensino médio



Conceitos aprendidos de modo expositivo podem ser mobilizados e realmente compreendidos quando os estudantes são expostos aos estudos de casos que envolvem plantas, animais e seres humanos. Nos casos apresentados na atividade “Tá Ligado?”, o desafio é descobrir, por meio da análise das proporções obtidas nos cruzamentos-teste, se os genes para duas características investigadas estão ou não ligados.

De acordo com a teoria cromossômica da herança, os genes estão localizados em cromossomos. O número de cromossomos, na maioria dos organismos, é limitado e existem mais genes do que cromossomos. Consequentemente, alguns genes deverão estar presentes em um mesmo cromossomo e não segregarão independentemente. Esses genes geralmente não se separam, pois estão ligados fisicamente e são chamados de Genes Ligados ou apresentam Ligação Gênica.

Para se detectar um efeito de ligação entre dois genes podem ser feitos cruzamentos-teste entre um parental duplo-heterozigoto **AaBb** com um parental duplo-recessivo **aabb**. Como resultado podem ser encontradas três situações envolvendo a segregação desses dois genes:

1. Segregação independente – os dois genes estarão localizados em cromossomos diferentes e terão combinações aleatórias dos alelos na formação de gametas. Serão formados quatro tipos de gametas (**AB**, **Ab**, **aB** e **ab**). Os gametas deverão ser produzidos na mesma proporção 1:1:1:1.
2. Ligação completa – os dois genes estão completamente ligados, unidos no mesmo cromossomo. Serão formados apenas dois tipos de gametas (**AB** e **ab**) na mesma proporção 1:1.
3. Ligação Incompleta - os dois genes estão fisicamente ligados no mesmo cromossomo, mas pode ocorrer um evento de permutação (*crossing over*) que “quebra” a ligação e permite recombinação. Nesse caso são formados quatro tipos de gametas (**AB**, **Ab**, **aB** e **ab**), com proporções diferenciadas. Os gametas portadores de genótipos parentais (por exemplo, **AB** e **ab**) serão mais frequentes que os portadores de arranjos recombinantes (**Ab** e **aB**).

O jogo foi criado para que estudantes do ensino médio possam mobilizar os conceitos básicos sobre ligação gênica enfrentando o desafio de solucionar casos que fazem parte do cotidiano da sociedade. A solução dos casos, ou seja, descobrir se os genes para duas características estão ou não ligados, depende da compreensão de pistas fornecidas durante o jogar.

COMPONENTES DO JOGO

- + 10 cartões de casos;
- + 10 cartões de pistas;
- + 10 envelopes de cores diferentes ou numerados;
- + Quadro de rascunho ou bloco de anotações;
- + Marcador para quadro branco, caso opte-se pelo quadro de rascunho.

Dica – o quadro de rascunho pode ser confeccionado a partir de uma cartolina branca coberta com papel autoadesivo transparente que, depois de usado poderá ser apagado e reutilizado.

PLANEJAMENTO DA ATIVIDADE

O jogo é constituído por 10 casos (10 rodadas) que envolvem ou não Ligação Gênica. Para cada caso existem 10 pistas que serão lidas gradualmente, para que os grupos cheguem a uma resposta. Os cartões estão divididos em casos referentes a plantas (azul), a animais (verde), e a humanos (vermelho).

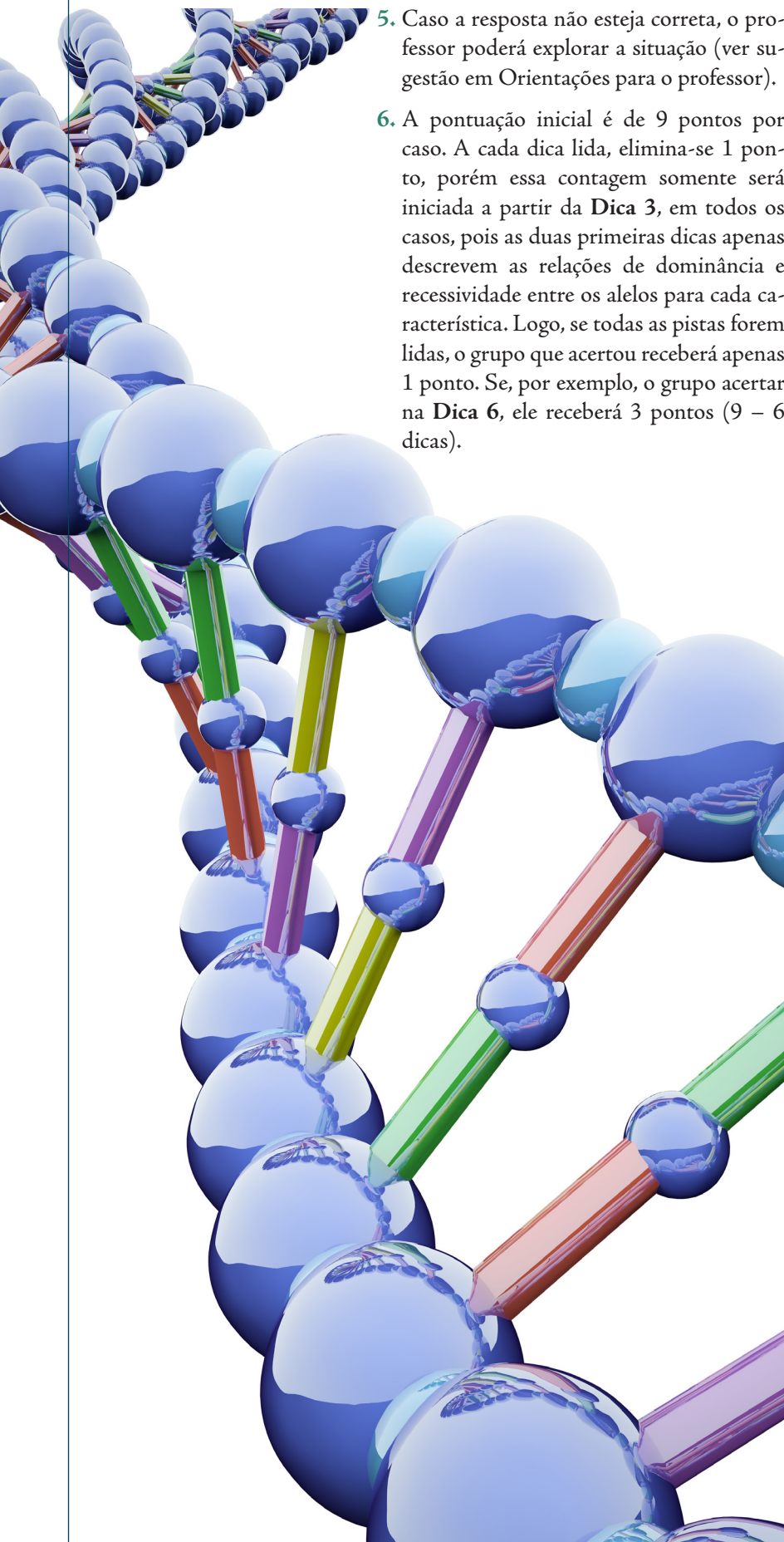
Para iniciar o jogo, o professor divide a sala em dois ou mais grupos e assume a função de juiz das partidas. Após a formação dos grupos, as regras devem ser lidas e cada grupo deve eleger um porta-voz.

A cada rodada um envelope colorido ou numerado deve ser sorteado pelo juiz. O mesmo deverá ler em voz alta o caso sorteado e suas respectivas pistas, de acordo com as solicitações dos grupos, os quais tentarão solucionar o mesmo problema.

A rodada tem início após a leitura do problema sorteado. Será declarado vencedor o grupo que ao final das rodadas jogadas tiver mais pontos.

ETAPAS DO JOGO

1. Após a leitura do caso pertinente à rodada, o juiz deverá ler a primeira pista e os grupos deverão se mobilizar para organizar a informação fornecida. Caso seja necessário, o professor deverá repetir a pista ou mesmo disponibilizá-la em forma de placas na lousa (ver sugestão em Orientações para o professor).
2. O juiz só irá ler a próxima pista se nenhum grupo chegar à resposta.
3. O grupo que souber a resposta deverá gritar em voz alta: “**Tá Ligado!**”, caso os genes em questão estejam ligados ou, do contrário, “**Não Tá Ligado!**”.
4. O grupo que gritar primeiro deverá explicar como chegou ao resultado, de preferência o porta-voz realizará essa função.



5. Caso a resposta não esteja correta, o professor poderá explorar a situação (ver sugestão em Orientações para o professor).
6. A pontuação inicial é de 9 pontos por caso. A cada dica lida, elimina-se 1 ponto, porém essa contagem somente será iniciada a partir da **Dica 3**, em todos os casos, pois as duas primeiras dicas apenas descrevem as relações de dominância e recessividade entre os alelos para cada característica. Logo, se todas as pistas forem lidas, o grupo que acertou receberá apenas 1 ponto. Se, por exemplo, o grupo acertar na **Dica 6**, ele receberá 3 pontos (9 – 6 dicas).

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

O jogo “**Tá Ligado?**” foi desenvolvido para substituir os tradicionais exercícios no final da aula. Os casos utilizados no jogo são baseados em exercícios presentes em livros didáticos (citados no item Referências utilizadas para elaboração dos casos), assim, é fundamental que o mesmo seja aplicado após o professor trabalhar o tema com os seus alunos.

Caso o jogo seja aplicado em uma turma numerosa, pode ser necessário que as pistas sejam disponibilizadas em placas visíveis e coladas na lousa, permitindo que todos tenham fácil acesso às pistas.

Se a resposta fornecida pelo grupo não estiver correta, o professor deverá explorar a situação e discutir com os outros grupos a fim de chegar à resposta correta. Podem ser utilizadas imagens que ilustrem situações com e sem Ligação Gênica, permitindo explorar o assunto a partir de esquemas. É importante que além das proporções esperadas para cada situação, fique claro para os alunos o que leva às mesmas, isso pode ser feito a partir de uma discussão após cada rodada. É indicado que sejam jogadas pelo menos quatro rodadas para melhor fixação de conceitos.

O professor pode elaborar os seus próprios casos, inclusive para outros conteúdos. Basta procurar exercícios e elaborar pistas de modo que o aluno as utilize para chegar a uma resposta final.

REFERÊNCIAS UTILIZADAS PARA ELABORAÇÃO DOS CASOS

- AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R. *Biologia*. Componente Curricular: *Biologia, Biologia das Populações*, v 3. São Paulo: Editora Moderna, 2004.
- LAURENCE J. *Biologia: ensino médio*, Volume Único. São Paulo: Editora Nova Geração, 2005.
- SILVA, T.C. *Biologia IV*. São José dos Campos: Editora Poliedro, 2003.
- UZUNIAN, A.; PINSETA, D.E.; SASSON, S. *Caderno de exercício: Biologia*. São Paulo: Gráfica e Editora Anglo, 2001.

Caso 1.

Um agricultor e produtor de tomates decidiu convidar um biólogo para entender melhor a genética dos seus tomateiros com a finalidade de maximizar a sua produção, gerando plantas que atendam a sua expectativa de altura e cor de fruto. Ele lhe deu informações de como funcionava o cruzamento dos tomates e o biólogo explicou-lhe como eram os mecanismos de herança nessas plantas. A sua função é descobrir, a partir da conversa dos dois sobre um cruzamento realizado, se o gene para **altura da planta** “**Tá ligado**” ao gene para **cor do fruto**.



Dica 1: Em tomates o gene para coloração do fruto possui dois alelos. O alelo dominante “**A**” condiciona a característica **fruto vermelho** e o alelo recessivo “**a**”, quando encontrado em duplicidade, resulta em **fruto amarelo**.

Dica 2: Em tomates o alelo dominante “**B**” condiciona a característica **planta alta** e o alelo recessivo “**b**”, quando em duplicidade, resulta na característica **planta baixa**.

Dica 3: O cruzamento realizado pelo agricultor foi: **planta alta com frutos vermelhos** (duplamente heterozigótica) com **planta baixa de frutos amarelos**.

Dica 4: A partir do cruzamento entre os parentais, o agricultor obteve dois tipos diferentes de plantas.

Dica 5: Um tipo de planta obtido foi **alta com frutos vermelhos**.

Dica 6: Outro tipo de planta obtido foi **baixa com frutos amarelos**.

Dica 7: Um dos genótipos obtido pelo agricultor a partir do cruzamento entre os parentais foi o **Aa/Bb**.

Dica 8: Um dos genótipos obtido pelo agricultor a partir do cruzamento entre os parentais foi o **ab/ab**.

Dica 9: A partir do cruzamento entre os parentais o agricultor encontrou 2 tipos de plantas em iguais porcentagens.

Dica 10: O biólogo explicou ao agricultor que durante o cruzamento entre os parentais provavelmente **não** ocorreram permutações (*crossing over*).

Caso 2.

Em sua plantação de crisântemos, Seu Bento sempre conseguia sementes que produziam plantas com diferentes combinações entre flores brancas ou vermelhas em arbustos baixos ou altos. Certa vez ele notou que as flores mais populares de sua loja eram crisântemos vermelhos que nasciam em pequenos arbustos. Assim ele precisa da sua ajuda para saber se ele conseguiria cultivar apenas plantas baixas com flores vermelhas. A partir dos diferentes cruzamentos realizados você precisa descobrir se o gene que determina **altura da planta “Tá Ligado”** ao gene que determina **cor em crisântemos**.



Dica 1: A **cor vermelha** das flores é determinada por um alelo dominante “V”.

Dica 2: A **altura baixa** das plantas é determinada por um alelo recessivo “a”.

Dica 3: As plantas **baixas com flores brancas** são **homozigotas** para os alelos responsáveis pela cor da flor e pela altura da planta.

Dica 4: No experimento 1 ele realizou um cruzamento–teste entre **plantas altas de flores vermelhas** com **plantas baixas de flores brancas**, o floricultor obteve sementes das quais só nasciam plantas heterozigotas com flores vermelhas e altas.

Dica 5: No experimento 2, em um retrocruzamento entre plantas **altas com flores vermelhas** heterozigotas e com plantas **baixas de flores brancas**, ele observou quatro tipos diferentes de combinações entre flores brancas ou vermelhas e plantas altas ou baixas.

Dica 6: No Experimento 2, a partir de um retrocruzamento foram obtidas 300 sementes, das quais nasceram 74 plantas **altas de flores vermelhas**.

Dica 7: Das 300 plantas obtidas no Experimento 2, a partir de um retrocruzamento, 76 eram plantas **altas com flores brancas**.

Dica 8: Seu Bento colheu como resultado do retrocruzamento, 300 plantas, das quais 75 eram **baixas com flores vermelhas**.

Dica 9: No Experimento 2 das 300 plantas obtidas, 75 plantas **baixas com flores brancas**.

Dica 10: **Podem** ocorrer eventos de permutação (*crossing over*) entre os genes que condicionam a coloração e a altura do crisântemo.

Caso 3.

Seu José planta milho em seu sítio e apesar de vender as espigas para seus vizinhos e pessoas da cidade para consumo, ele também pretende vender para a indústria, para a produção de polentas, mingaus, rações, farinhas etc. No entanto, a aceitação será maior se as espigas possuírem grãos brancos e lisos. Seu José procura pesquisadores para entender como ele pode conseguir essas espigas, já que ele apenas encontrou, para comprar, grãos coloridos e lisos ou grãos brancos e rugosos. Que tal ajudar Seu José a descobrir se o gene que condiciona **a coloração dos grãos de milho “Tá Ligado”** ao gene que condiciona **a textura dos grãos de milho**.



Dica 1: O **grão colorido** é condicionado pelo alelo dominante “**B**” e, o **grão branco**, pelo alelo recessivo “**b**”.

Dica 2: O **grão liso** possui o alelo dominante “**R**” e, o **grão rugoso**, o alelo recessivo “**r**”.

Dica 3: Seu José cruzou **milho colorido liso** com **branco rugoso**. Esse cruzamento resultou em 4 tipos de grãos de milho.

Dica 4: O genótipo de um dos parentais era **Bb/Rr**.

Dica 5: O genótipo de outros parentais era **bb/rr**.

Dica 6: Um dos resultados encontrados foi 48% de indivíduos que produziam **sementes coloridas e lisas**.

Dica 7: Um dos resultados encontrados foi 48% indivíduos que produziam **sementes brancas e rugosas**.

Dica 8: Um dos resultados encontrados foi 2% indivíduos que produziam **sementes coloridas e rugosas**.

Dica 9: Um dos resultados encontrados foi 2% indivíduos que produziam **sementes brancas e lisas**.

Dica 10: **Podem** ocorrer eventos de permutação (*crossing over*) entre os genes que condicionam a coloração e a textura dos grãos de milho.

Caso 4.

A indústria de tecidos utiliza pelos de carneiros/ovelhas para obter a lã para o feitiço de roupas. Os animais de pelos longos são os mais desejados. Um criador do Sul do Brasil tem interesse em comercializar animais de pelos pretos, mas que sejam longos. Ele somente encontra animais com coloração marrom e pelos longos e animais de coloração preta e pelos curtos. Ele procura ajuda de pesquisadores para, por meio de cruzamentos, encontrar animais de seu interesse, com pelos pretos e longos. Será que o gene relacionado à **coloração dos pelos** “**Tá Ligado**” ao gene relacionado ao **comprimento dos pelos**?



Dica 1: O alelo que condiciona **pelagem preta** é **dominante** sobre o alelo que condiciona pelagem de **coloração marrom**.

Dica 2: O alelo que condiciona **pelo curto** é **dominante** sobre o alelo que condiciona **pelo longo**.

Dica 3: O pesquisador realizou cruzamentos entre animais de **pelagem preta** e **pelos curtos** com indivíduos com **pelos longos** e **coloração marrom**. Nesse cruzamento, de 1000 animais, obtivemos quatro classes fenotípicas referentes à coloração e comprimento de pelos.

Dica 4: Os parentais com **pelagem longa** e **coloração marrom** são **duplo recessivos**.

Dica 5: Os parentais com **pelagem curta** e **coloração preta** são **duplo heterozigotos**.

Dica 6: A **pelagem longa de coloração preta** estava presente em 68 animais resultantes dos cruzamentos realizados pelo pesquisador.

Dica 7: A **pelagem longa e coloração marrom** estava presente em 431 animais resultantes dos cruzamentos realizados pelo pesquisador.

Dica 8: A **pelagem curta e coloração preta** estava presente em 432 animais resultantes dos cruzamentos realizados pelo pesquisador.

Dica 9: Dos 1000 animais nascidos, 69 apresentavam **pelagem curta e marrom** resultantes dos cruzamentos realizados pelo pesquisador.

Dica 10: Apesar dos genes relacionados com coloração e comprimento dos pelos estarem no mesmo cromossomo, **podem** ocorrer eventos de *crossing over* entre eles.

Caso 5.

Em uma cidade do interior do Brasil ocorreu uma grande infestação de ratos. O prefeito decidiu resolver a situação e para isso aplicou raticida na cidade. Com o passar do tempo verificou que a maioria dos animais sobreviventes era de pelagem preta. Intrigado com a situação decidiu contratar um cientista para investigar o caso. O pesquisador realizou alguns cruzamentos para verificar se o gene para **coloração da pelagem “Tá Ligado”** ao gene de **resistência ao veneno**.



Dica 1: O alelo “M” que condiciona **pelagem preta** é **dominante** sobre o alelo “m” que condiciona **pelagem malhada**.

Dica 2: O alelo “R” que condiciona **resistência ao raticida** é **dominante**.

Dica 3: O cientista realizou cruzamentos entre indivíduos **heterozigotos de pelagem preta e resistentes** com **malhados e não-resistentes** obtendo quatro classes fenotípicas de filhotes.

Dica 4: O genótipo dos parentais **malhados e não resistentes** era **mm/rr**.

Dica 5: O genótipo dos parentais **pretos e resistentes** era **Mm/Rr**.

Dica 6: Dos 77 filhotes obtidos pelo cientista, 25 filhotes apresentaram **pelagem preta e resistência ao raticida**.

Dica 7: Dos 77 filhotes obtidos a partir dos cruzamentos, 24 filhotes apresentaram **pelagem malhada e não possuíam resistência ao raticida**.

Dica 8: Como resultado dos cruzamentos o cientista observou 13 filhotes **resistentes e de pelagem malhada** dentre os 77 nascidos.

Dica 9: O cientista obteve 15 filhotes de **pelagem preta e não resistentes** a partir dos cruzamentos realizados.

Dica 10: O cientista detectou que **podem** ocorrer eventos de permutação (*crossing over*).

Caso 6.

Sr. Sérgio é um renomado fazendeiro da cidade de Piracicaba, que em sua propriedade possui uma grande criação de aves domésticas, as quais ele revende para indústrias. Uma das exigências de um dos compradores das aves de Sr. Sérgio é que as aves sejam brancas e que possuam plumagem nas pernas. Para atender às expectativas de seu cliente, o fazendeiro decidiu contratar um biólogo da cidade para que o mesmo pudesse resolver o seu problema. O biólogo realizou algumas anotações a partir dos cruzamentos realizados. Agora você deve ajudar a descobrir, a partir desses dados, se o gene para **coloração de penas “Tá Ligado”** ao gene de **presença de plumagem nas pernas** das aves.



Dica 1: O alelo **dominante “C”** condiciona a **cor branca** e o alelo recessivo **“c”**, quando encontrado em duplicidade, resulta em **plumagem colorida**.

Dica 2: O alelo **dominante “P”** condiciona a **presença de plumas nas pernas** das aves e o alelo **“p”**, quando encontrado em duplicidade, resulta na **ausência de plumas nas patas**.

Dica 3: O biólogo realizou um experimento cruzando os seguintes parentais: ave **branca com plumas nas pernas** com ave **colorida sem plumas nas pernas**.

Dica 4: O genótipo de um dos parentais utilizados pelo biólogo nos cruzamentos era **Cc/Pp**.

Dica 5: A partir dos cruzamentos entre os parentais, o biólogo obteve 4 tipos diferentes de aves.

Dica 6: A partir dos cruzamentos entre os parentais, o biólogo obteve 150 aves, destas 38 eram **brancas sem plumagem nas pernas**.

Dica 7: Das 150 aves obtidas pelo biólogo a partir dos cruzamentos entre os parentais, 37 eram **brancas com plumagem nas pernas**.

Dica 8: Como resultado dos cruzamentos entre os parentais o biólogo contratado pelo Sr. Sérgio verificou que 39 aves eram **coloridas e com plumagem nas pernas**.

Dica 9: O biólogo verificou que, ao realizar cruzamentos entre as aves parentais, 24% dos filhotes haviam nascido **coloridas e sem plumagem nas pernas**.

Dica 10: O biólogo explicou ao Sr. Sérgio que durante o cruzamento entre os parentais provavelmente **não** ocorreu permutação (*crossing over*).

Caso 7.

Pedro que possui anemia devido às suas hemácias em formato oval e é Rh⁺, casa-se com Júlia que apresenta hemácias normais e é Rh⁻. Júlio Pedro, fruto desta união, possui hemácias de formato oval e é Rh⁺. O filho seguinte apresenta eritroblastose fetal (doença hemolítica causada por incompatibilidade do Rh). Júlio Pedro vai se casar e gostaria de saber se seus filhos podem ter problemas de incompatibilidade do Rh, já que sua esposa também é Rh⁻, como sua mãe, e se eles podem ter a chance de ter os dois problemas de saúde ao mesmo tempo. Ele procura um laboratório específico e faz o genótipo de seus espermatozoides. Que tal você ajudar o médico a verificar, a partir das informações obtidas, se o gene que condiciona o **formato das hemácias “Tá Ligado”** ao gene que condiciona o **fator Rh**?



Dica 1: As hemácias de **forma oval** são condicionados pelo alelo **dominante “E”** e hemácias **normais** alelo **recessivo “e”**.

Dica 2: Pessoas portadoras de pelo menos um alelo **“R”** apresentam o fator Rh em suas hemácias e são **Rh⁺**, enquanto pessoas homocigóticas recessivas **rr** são **Rh⁻**.

Dica 3: Júlio Pedro é **heterocigoto** tanto para o gene que confere a **forma das hemácias** quanto para aquele que condiciona o **fator Rh**.

Dica 4: O genótipo de Júlio Pedro é **Rr/Ee**.

Dica 5: A esposa de Júlio Pedro tem o genótipo **rr/ee**.

Dica 6: O médico verificou que para esses dois genes foram encontrados **4 tipos** de espermatozoides.

Dica 7: O alelo para **hemácias ovais** e **fator Rh (Rh⁺)** estava presente em 40% dos espermatozoides.

Dica 8: O alelo para **hemácias normais** e **sem o fator Rh (Rh⁻)** estava presente em 40% dos espermatozoides.

Dica 9: O alelo para **hemácias normais** e **fator Rh (Rh⁺)** estava presente em 10% dos espermatozoides.

Dica 10: O alelo para **hemácias ovais** e **sem o fator Rh (Rh⁻)** estava presente em 10% dos espermatozoides.

Caso 8.

Júnior e Ana são casados há 4 anos e possuem dificuldades em engravidar, assim, procuraram os serviços de uma Clínica de Reprodução assistida e iniciam o tratamento. O resultado foi um sucesso e a mulher de Júnior hoje está no 3o mês de gravidez. Ao voltar ao consultório, Júnior falou ao médico que tinha ouvido informações sobre genes ligados e pediu que o médico lhe explicasse melhor. Pacientemente, o Doutor Ricardo lhe demonstrou como funcionavam esses genes. Após as explicações para verificar se Pedro realmente havia entendido, o médico lhe deu as informações abaixo sobre dois genes, um que resulta na capacidade de **enrolar a língua** e outro que permite o **uso da mão direita**. Usando os próprios dados dos espermatozoides do paciente coletados durante o tratamento, que tal você ajudar o Júnior, dizendo se o gene para capacidade de **enrolar a língua “Tá Ligado”** ao gene que permite o **uso da mão direita**.



Dica 1: Em humanos, a capacidade de **enrolar a língua** é devida ao alelo **dominante “E”** e, a **incapacidade**, ao **recessivo “e”** quando encontrado em homozigose.

Dica 2: Em humanos, o **uso da mão direita** é devido ao alelo **dominante “B”** e o **uso da mão esquerda** é condicionada pelo alelo **recessivo “b”** quando em homozigose.

Dica 3: Júnior era **heterozigoto** tanto para o gene que resulta na **capacidade de enrolar a língua** quanto para aquele que permite o **uso da mão direita**.

Dica 4: Ana era **recessiva** tanto para o gene que determina a **capacidade de enrolar a língua** quanto para aquele que permite a **uso da mão**.

Dica 5: O médico informou que para esse dois genes foram encontrados 4 tipos de espermatozoides.

Dica 6: O médico detectou que 27% dos espermatozoides possuíam tanto o alelo dominante do gene para **capacidade de enrolar a língua** quanto para aquele que permite o **uso da mão direita**.

Dica 7: O médico detectou que 24% dos espermatozoides possuíam o alelo dominante do gene para **capacidade de enrolar a língua** e o alelo recessivo para aquele que permite o **uso da mão esquerda**.

Dica 8: O médico detectou que 25% dos espermatozoides possuíam o alelo recessivo do gene para **não capacidade de enrolar a língua** e o alelo dominante para aquele que permite o **uso da mão direita**.

Dica 9: O médico detectou que 24% dos espermatozoides possuíam o alelo **recessivo** do gene para a **não capacidade de enrolar a língua** quanto para aquele que permite o **uso da mão esquerda**.

Dica 10: O médico informou que provavelmente **não** houve permutação (*crossing over*).

Caso 9.

Quando participou de um teste experimental, Rubens descobriu que era portador de duas mutações que causam problemas respiratórios e de visão. Como parte do teste, os gametas de Rubens foram genotipados usando os marcadores genéticos para essas mutações. Uma das mutações está relacionada ao desenvolvimento da **fibrose cística**, cujo principal efeito é a produção anormal de secreções, que se tornam mais viscosas, prejudicando o funcionamento dos pulmões e órgãos do sistema digestivo. A outra mutação está relacionada ao daltonismo para a cor azul, chamado de **Tritanopia**. Sabendo que você já havia estudado genética, Rubens quis saber se seus filhos poderiam nascer com as duas mutações ao mesmo tempo. Que tal ajudar Rubens a saber se o gene que condiciona **fibrose cística “Tá Ligado”** ao gene que condiciona **Tritanopia**.



Dica 1: O alelo “q”, que determina a **fibrose cística**, é **recessivo** em relação ao alelo “Q”, que condiciona a **condição normal**.

Dica 2: O alelo “n”, que determina a **tritanopia**, é **recessivo** em relação ao alelo “N” que condiciona a **visão normal das cores**.

Dica 3: Rubens era **duplo heterozigoto** para os dois genes estudados.

Dica 4: O genótipo de Rubens é **Qq/Nn**.

Dica 5: Foram genotipados 450 espermatozoides no total e 195 deles tinham o alelo “q” e o alelo “N” ao mesmo tempo.

Dica 6: Observaram-se 193 espermatozoides com os alelos “Q” e “n” .

Dica 7: Dos 450 espermatozoides genotipados, foram observados 32 com os alelos “Q” e “N” conjuntamente.

Dica 8: Dos 450 espermatozoides genotipados, foram observados 30 com os alelos “q” e “n” conjuntamente.

Dica 9: Considerando os genes estudados, foram encontrados quatro tipos de gametas diferentes.

Dica 10: Provavelmente **houve** permutação (*crossing over*) entre os dois genes.

Caso 10.

Antônio, um homem com pés e mãos normais (com 5 dedos cada), porém albino, casa-se com Maria, mulher com polidactilia e normal para o albinismo. Maria é filha de um homem homocigoto e normal para os dois caracteres e de uma mulher com polidactilia e albina. Eles consultam uma clínica médica para ver quais as chances de seus filhos nascerem com ambas as características e para tanto genotipam os gametas de Maria. Será que o gene que condiciona **polidactilia “Tá Ligado”** ao gene que condiciona **albinismo**?



Dica 1: A **polidactilia** é condicionada por alelo **dominante “P”**, sendo que os indivíduos homocigotos **recessivos possuem pés e mãos normais**.

Dica 2: O alelo **dominante “A”** produz em seus portadores **pigmentação normal** enquanto que o alelo **“a”** em homocigose condiciona o **albinismo**.

Dica 3: Maria é heterocigota tanto para o gene que confere **número normais de dedo nos pés e mãos** quanto para aquele que condiciona **pigmentação normal na pele**.

Dica 4: O genótipo de Maria é **Pp/Aa**.

Dica 5: O genótipo de Antônio é **pp/aa**.

Dica 6: O médico verificou que para esses dois genes foram encontrados 4 tipos de gametas.

Dica 7: O alelo para **pés e mãos normais** e **albinismo** estava presente em 24% dos gametas de Maria.

Dica 8: O alelo para **polidactilia** e **pigmentação normal na pele** estava presente em 26% dos gametas.

Dica 9: O alelo para **pés e mãos normais** e **pigmentação normal na pele** estava presente em 25% dos gametas de Maria.

Dica 10: O alelo para **polidactilia** e **albinismo** estava presente em 25% dos gametas.