

QUE BACALHAU É ESSE?

– Uma abordagem lúdica introdutória para a aplicação prática de sequências de DNA em sala de aula



Carine Belau de Castro Martins¹, Ieda Zanotti², Antonio Mateo Solé-Cava¹

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro Nacional para Identificação Molecular do Pescado, Instituto de Biologia, Rio de Janeiro, RJ

² Pajelança Conteúdos, Rua Almirante Alexandrino, 2603, CEP 20241-263, Rio de Janeiro, RJ

Autor para correspondência - carine.belau@gmail.com

Palavras-chave: sequências de DNA, identificação, filogenia, forense

A atividade prática “Que bacalhau é esse?” constrói um diálogo de saberes entre ensino de biologia e mundo real para facilitar o aprendizado de conteúdos que vão desde o DNA como base hereditária até o seu uso para identificação de espécies. A atividade envolve uma parte lúdica, através de uma história em quadrinhos sobre “o mistério da ceia de Natal”, e segue um roteiro que instiga a redescoberta e investigação. Motivados a atuarem como cientistas, tentando esclarecer o mistério, estudantes comparam sequências de DNA dos bolinhos com aquelas de uma biblioteca, auxiliados por uma chave dicotômica. A atividade foi aplicada em 5 escolas públicas com sucesso, e manteve a maior parte dos estudantes engajados nas atividades propostas.

Contexto e objetivo

A **aprendizagem significativa** se estabelece quando ocorre a relação entre o novo, conceitos, conteúdos, e aquilo que os participantes do processo de aprendizagem trazem, conhecimento tácito, percepções. Assim, a construção do conhecimento deve extrapolar os processos mecânicos associados, por exemplo, à memorização de conceitos e à repetição, e incorporar uma práxis sócio crítica. As bases para esse processo são o aprender a ser, aprender a conviver, aprender a conhecer e aprender a fazer.

O ensino de ciências se apresenta como uma oportunidade de relacionar teoria e prática, e se torna ainda mais significativo quando os estudantes são expostos a problemas desafiadores que estimulem a pesquisa e descoberta de soluções aplicáveis à realidade. Entretanto, apesar de ser potencialmente integrador, ele é frequentemente realizado a partir de abordagens que o desvinculam da realidade e do cotidiano dos alunos, sem que haja uma conexão entre as vivências e os conhecimentos estruturados em sala de aula. A experimentação em sala de aula contribui para o aprendizado do paradigma científico, desde a formulação e o teste de hipóteses e a solução de problemas até o exercício da curiosidade e do prazer da descoberta. Ela amplia os horizontes educacionais e favorece a aprendizagem significativa e ativa.

Dentro desse arcabouço teórico, desenvolvemos uma atividade prática que busca apresentar uma abordagem transdisciplinar,

construída em torno da pergunta – “que bacalhau é esse?” – como uma ferramenta de aprendizagem que incorpora perspectivas históricas, culturais e científicas, tornando o processo de aprendizagem significativo, dinâmico e prazeroso, articulando e promovendo a interação entre o saber existente e o saber construído. A atividade pode ser realizada em vários pontos do currículo de Biologia, podendo servir de motivação para a descoberta do DNA como material genético, sobre como ele pode ser analisado/sequenciado, e como pode ser usado para resolução de problemas práticos.

A seguir oferecemos um pouco do *background* sobre o bacalhau, que pode ser usado em um projeto transversal articulando o aprendizado de história, sociologia e de cultura. Na nossa experiência, essa introdução ajuda a estimular a curiosidade de estudantes, e possibilita a inserção do assunto da atividade da aula no mundo real.

O bacalhau e suas nuances histórica, cultural e científica

O bacalhau (*Gadus morhua*), abundante no oceano Atlântico Norte, foi usado na sua forma salgada como principal mantimento durante a época das grandes navegações porque permitia sua conservação pelo tempo das viagens e fornecia uma fonte de proteínas confiável. Podemos dizer que o bacalhau foi um dos responsáveis pela expansão marítima para os mares do sul.

A facilidade de conservação do bacalhau contribuiu para sua incorporação à dieta em vários países da Europa e Américas e instigou a expansão da indústria pesqueira. Trazido para o Brasil pela família Real portuguesa no início do século XIX, tornou-se rapidamente o peixe favorito para a comemoração de datas tradicionalmente religiosas.

O bacalhau popularizou-se no Brasil na forma de bolinho, tornando-se um acompanhamento para refeições e lanches, podendo ser facilmente encontrado em restaurantes, botecos populares, barraquinhas de rua e feiras. A facilidade no preparo e a incorporação de batata à receita contribuíram para a disseminação do bolinho de bacalhau como alimento exequível nas várias classes sociais.

No Brasil, o bacalhau é comercializado salgado e desidratado sob várias formas: inteiro, desfiado ou em lascas. Sua identificação na forma de peixe inteiro é relativamente fácil, mas, quando há algum tipo de processamento durante a comercialização, sua substituição por outros peixes secos e salgados de menor valor comercial pode ocorrer. Para evitar essas fraudes, foram criadas normas pelo governo em 2015, que definiram que apenas duas espécies poderiam ser comercializadas com o nome de **Bacalhau**: *Gadus morhua* (Bacalhau do Atlântico ou do Porto) e *Gadus macrocephalus* (Bacalhau do Pacífico). Outras espécies, como Polaca-do-Alasca (*Gadus chalcogrammus*), Ling (*Molva molva*), Saithe (*Pollachius virens*) e Zarbo (*Brosme brosme*) devem receber a denominação genérica de “peixe seco salgado semelhante ao bacalhau”.

Entretanto, apesar dessas espécies serem facilmente identificadas quando estão inteiras, sua identificação morfológica é muito difícil quando estão processadas, como por exemplo na forma de bolinhos. Análises moleculares, especialmente o sequenciamento de DNA, têm sido uma alternativa para a identificação de produtos pesqueiros processados. Em sala de aula, essa questão oportuniza a introdução de conceitos que vão desde a importância do bacalhau para as grandes navegações como a introdução do DNA como fator hereditário e seu uso para identificação de espécies.

O problema como desencadeador do processo de aprendizagem

Contextualizar a Genética a partir do aproveitamento dos recursos existentes dentro e fora do ambiente escolar pode facilitar a construção do conhecimento de forma dinâmica, contribuindo assim para o melhor aprendizado dos estudantes. Aplicar conceitos científicos vinculando-os com o dia a dia e, dinamicamente, através de atividades práticas, pode proporcionar maior envolvimento dos alunos, e concomitantemente, auxiliar a reestruturação da prática tradicionalista de ensino.

Nesse aspecto, o bolinho de bacalhau ganha papel de mediador entre as relações de dentro e de fora da escola, já que possui uma representatividade histórico-social como um alimento de tradição em várias regiões do Brasil.

A problematização do “que bacalhau é esse?” para indagar e atizar a curiosidade de estudantes sobre qual peixe foi usado em seu preparo permite que exercitem o pensamento crítico e investigativo.

A atividade

A atividade “Que Bacalhau é esse?” foi inicialmente elaborada como parte do projeto “A UFRJ Doa uma Aula”, que tem como objetivo levar às escolas públicas de Ensino Fundamental e Médio conteúdos como aulas teóricas e práticas, palestras e debates que possam interessar e enriquecer a comunidade escolar, promovendo o diálogo entre a universidade e as escolas (<https://ufrjdoaumaaula.com.br/>). Este artigo é baseado na experiência acumulada ao longo de atividades apresentadas em cinco escolas públicas em bairros de níveis socioeconômicos variados no Rio de Janeiro. A teatralização associada à problematização estimula os estudantes a engajar-se na busca de uma solução ao longo da atividade, que tem duração de 100 minutos,

sendo 50 minutos voltados para exposição teórica, e 50 minutos para atividade prática investigativa, e se organiza em 3 momentos.

I. Apresentação do tema

(diferenças entre bolinhos de bacalhau feitos por irmãs)

O primeiro momento contextualiza a pesca do bacalhau a partir de uma perspectiva histórica e social, apresentando-a como objeto investigativo. Resgatamos brevemente a história da pesca do bacalhau e sua importância histórica. O conhecimento que se considera nas aulas de ciências passa a ser também o conhecimento social, que perpassa os muros da escola e se conectam para construir um discurso científico próprio da sala de aula. Isso torna possível ao estudante definir, a partir deste contexto, o problema a ser investigado.

Após essa apresentação inicial sobre o bacalhau e de sua importância história e cultural, apresentamos à turma a história do mistério da ceia de Natal. Como material de apoio para esta parte da aula, empregamos uma história em quadrinhos, em que o primeiro ato (Fig. 1) introduz, no arco dramático, um problema: será que a diferença nos bolinhos de bacalhau feitos por duas irmãs, a partir da mesma receita de família, são resultado de diferenças na qualidade no preparo ou no tipo de peixe usado?

Recomenda-se a realização de uma leitura coletiva da HQ em sala de aula, permitindo que a turma interaja entre si e com a(o) facilitadora(or). A leitura pode ser realizada por voluntários ou a(o) facilitadora(or) pode escolher estudantes para fazerem uma leitura dramatizada, em que cada um dos participantes engajados na leitura representa um dos personagens presentes na história.

II. Levantamento investigativo

(qual a diferença entre você e o bacalhau?)

A partir do problema apresentado, a(o) facilitadora(or) estimula os estudantes a procurar uma solução para o problema. Como saber se a diferença no gosto dos bolinhos de bacalhau se devia ao uso de espécies diferentes? Até este ponto da atividade, a sigla “DNA” não foi usada. O objetivo da facilita-

dora deve ser, nesta parte da atividade, orientar a discussão para chegar no DNA como possível ferramenta para resolver o mistério. A turma deve ser estimulada a debater e buscar respostas para o problema. É possível que a turma convirja para alguma solução experimental para comparar os bolinhos de bacalhau. A facilitadora deve auxiliar, fazendo perguntas que orientem, sutilmente, a discussão da turma. Esse direcionamento para a aula poderá ser feito a partir do questionamento direto aos estudantes sobre “quais as semelhanças e diferenças entre você e um bacalhau?”. Em nossa experiência, essa pergunta, encarada inicialmente como uma piada pelos estudantes, provoca algumas reflexões interessantes sobre o que é ser **semelhante** e o que é ser **diferente**, que podem ser exploradas. Caso não haja uma convergência para as células e o DNA como resposta, pode ser feita uma outra pergunta, acompanhada da exibição de imagens (em *powerpoint* ou impressas; Fig. 2) de embriões de bacalhau e humanos, mostrando como são parecidos, e seguidos da pergunta: “por que este embrião vai originar um bacalhau, enquanto este outro vai originar um ser humano?”.

Nesse momento da aula, o ponto-chave estará nos conceitos de genética já abordados com a turma em aulas anteriores. A trajetória passa pela ideia de que, macroscopicamente, existe pouca semelhança entre ambas as espécies, mas a semelhança nas etapas iniciais de seu desenvolvimento embrionário provoca o pensamento para além do macroscópico, sendo a existência do DNA trazida à tona pelos próprios estudantes. Nesse momento, passamos para a relativização do que é semelhante e o que é diferente, explicando que os humanos e o bacalhau têm 70% dos genes em comum, mas que esses genes são diferentes (mas também semelhantes) em suas sequências de DNA. Esse é um ponto importante na aula porque permite a discussão sobre a diferença nos conceitos de gene e de DNA. Em termos de DNA, a diferença, por exemplo, no gene mitocondrial citocromo b entre humanos e bacalhau é de cerca de 60%. A próxima pergunta, então, pode ser: “se entre você e o bacalhau têm uma diferença de 60% no DNA do citocromo b, será que entre você e o colega do lado essa diferença é maior



Figura 1. Quadrinhos 1 a 6 da história “Que bacalhau é esse?”. Nessa parte da história, os estudantes são introduzidos ao problema: será que a diferença na qualidade dos bolinhos de “dona” Jane e de sua irmã, são devidos a diferenças em suas habilidades culinárias ou ao peixe usado?

ou menor?”. Mais uma vez, pode haver uma discussão, e espera-se que convirja, naturalmente, para “menor” (surpreendentemente, essa convergência não é rápida, e precisa ser trabalhada com cuidado). Nesse ponto, a facilitadora pode dizer algo como “muito bem!

De fato, a diferença entre o DNA do citocromo b de um humano e outro humano é de menos de 1%. E entre dois bacalhaus da mesma espécie?”. Mais uma vez, alguma discussão na turma e a resposta “mesma coisa, 1% mais ou menos”.

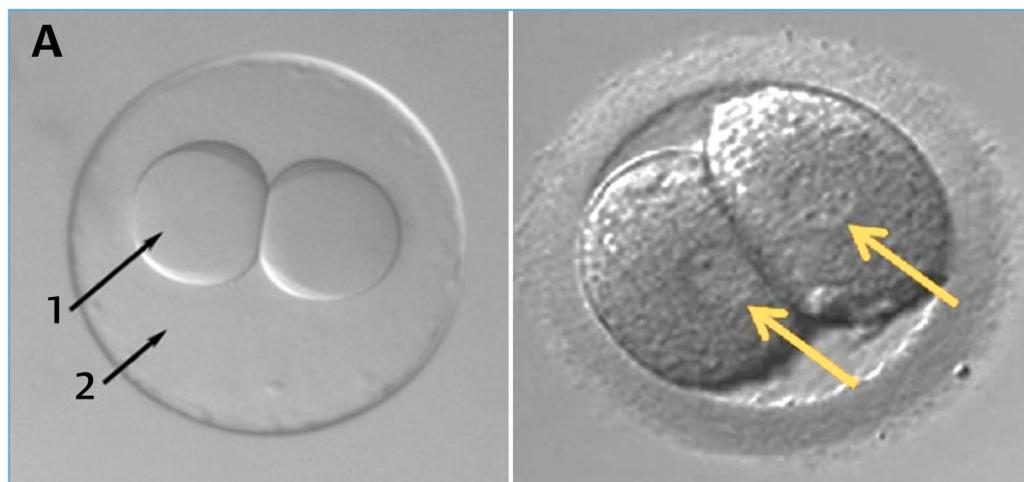


Figura 2. Embriões no estágio de duas células de bacalhau (à esquerda) e de humano (à direita). Apesar de diferentes, os dois são bastante semelhantes.

A próxima pergunta é “E entre um bacalhau e uma sardinha, a diferença deve ser maior ou menor do que entre um bacalhau e um humano?”. Nesse ponto, espera-se que já tenha se estabelecido na turma, ainda que não nomeado, o conceito de semelhança filogenética. Após discussão, pode ser exem-

plificado que, entre o bacalhau verdadeiro e a sardinha a diferença na sequência de citocromo b é de 20%, e entre o bacalhau verdadeiro e o falso do tipo Ling, ela é de 15%, ou seja, menor do que entre bacalhau e gente, mas maior do que entre bacalhau e bacalhau (Fig. 3).

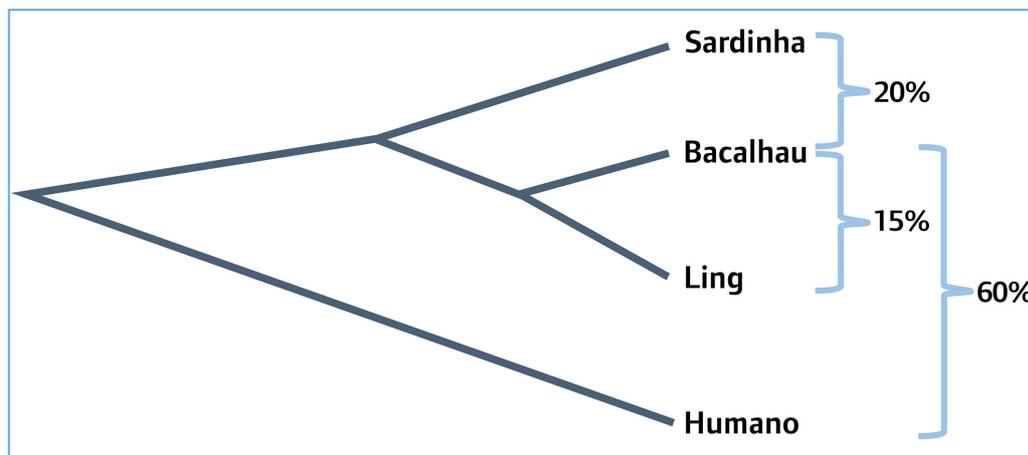


Figura 3. Diferenças entre sardinhas, bacalhau verdadeiro, ling (que é um bacalhau falso) e humanos, nas sequências do gene citocromo b. Notem que os peixes são menos diferentes entre si do que em relação a humanos, mas que, entre eles, também existem diferenças.

Ou seja, a facilitadora tem o papel condutor nessa etapa, sendo o estudante o responsável por inferir ativamente no objeto de investigação através da pergunta proposta pela história em quadrinho (“o que pode estar diferente nos bolinhos de bacalhau servidos?”). Este

momento da aula atua como construção do diálogo do pensamento científico, em que se estimula a ação ativa dos estudantes nas elaborações de visões do mundo de forma crítica, na qual o sujeito se torna a voz principal do processo de aprendizagem.

Após chegar nesse ponto, os estudantes estão prontos para reconhecer que diferenças nas sequências de DNA podem ser a solução para saber a espécie dos

bolinhos de bacalhau. Então, podem ser mostrados e teatralizados os próximos 8 quadrinhos, correspondentes ao segundo ato (Fig. 4).

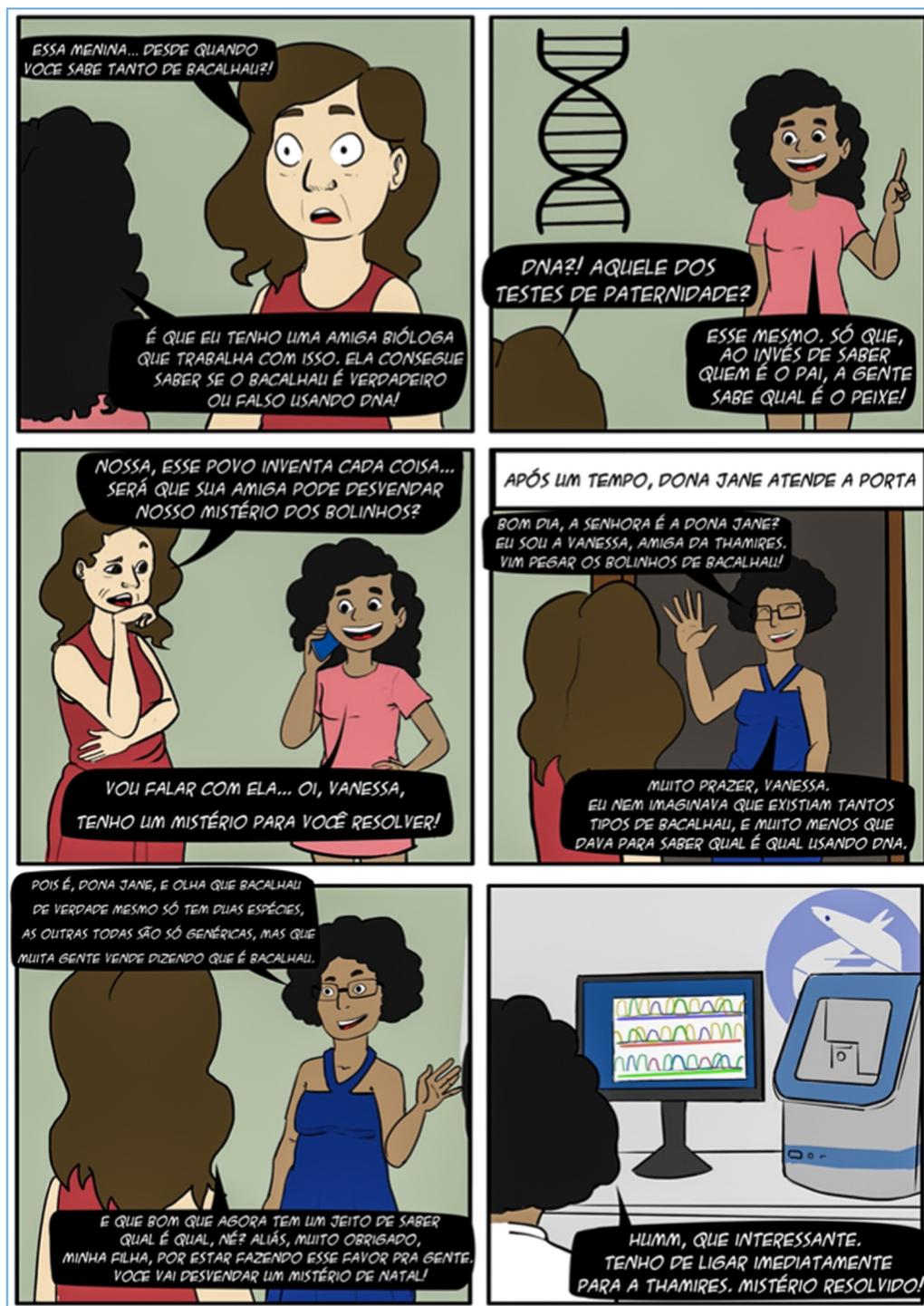


Figura 4. Quadrinhos 7 a 14 da história “Que bacalhau é esse?”. Nessa parte da história, os estudantes acompanham como a bióloga Vanessa usa o estudo das sequências de DNA dos bolinhos para resolver o mistério. Note que não mostramos ainda a solução do mistério, pois serão os estudantes que irão descobrir qual bolinho era feito com bacalhau falso. É importante criar um clima de suspense nessa etapa, enfatizando que está em jogo a capacidade culinária da irmã de dona Jane ou a honestidade de quem vendeu o tal bacalhau para ela.



Figura 4.
Cont.

III. Aplicação do método investigativo

(“como eu uso o DNA para descobrir a espécie do bolinho?”)

Na terceira e última etapa da aula, os estudantes já alcançaram a ideia do DNA como conexão e diferença entre ser humano e bacalhau, e então passamos a estimulá-los a refletir sobre as maneiras como o DNA pode ser utilizado para responder à pergunta principal. Partindo do pressuposto de que a turma já teve contato com os conceitos de DNA, estudantes são orientados à reflexão, ao fazer uma revisão breve sobre a estrutura do DNA e suas funções nos organismos.

Novamente, a facilitadora pergunta à turma se, com os conhecimentos previamente adquiridos, sejam eles frutos das aulas de genética ou de seu cotidiano, podem pensar em um método em que o DNA possa ser utilizado para identificação de espécies. Assume-se que, nesse momento, uma nova série de respostas surgirão vinculadas ao conceito de DNA e sua aplicação forense,

seja na solução de crimes ou em testes de paternidade. Como eles já haviam concluído que espécies diferentes têm DNAs diferentes, é natural que a discussão convirja para a solução de comparar os DNAs das amostras. Nesse momento, a pergunta passa a ser “comparar com o quê?”, que deve evoluir para a importância de se ter uma **biblioteca de referência**, com as sequências das espécies que podem ser vendidas como bacalhau, com a qual os DNAs das amostras poderão ser comparadas.

Nesse ponto, a facilitadora deve apresentar muito brevemente a rotina de um laboratório para o sequenciamento de DNA, explicando que, como as espécies têm sequências muito grandes de DNA, distribuídas em dezenas de milhares de genes, escolhem-se apenas um ou dois genes para este tipo de estudo. Esses genes são, então, sequenciados, ou seja, se aplicam metodologias para saber a ordem dos nucleotídeos (representados pelas letras A, T, C e G embaixo de um diagrama em que cada pico colorido corresponde a uma

letra). O objetivo da atividade não é ensinar sequenciamento ou biologia molecular, mas apenas mostrar como sequências de DNA podem ser usadas para identificar espécies. Se a turma estiver devidamente motivada e curiosa sobre o assunto, ele pode ser apresentado e discutido em outras aulas. Uma coisa que deve ser esclarecida para a turma é que, em geral, trabalha-se com sequências muito maiores, mas que, como a diferença entre as espécies é bastante grande, podemos escolher uma parte da molécula que sirva para diferenciá-las.

A turma, então, está pronta para a atividade prática, na qual irá investigar, como “detetives do DNA”, o mistério dos bolinhos. A prática consiste na divisão da turma em cinco grupos de investigadores, cujo objetivo é descobrir a espécie usada em bolinhos de bacalhau imaginários. Essa aula também pode ser feita com bolinhos de bacalhau verdadeiros! Já o fizemos em três ocasiões, em escolas em localidades de vários níveis socioeconômicos, e sempre funcionou muito bem. O aspecto lúdico dos estudantes comerem bolinhos de

cinco tipos diferentes para depois descobrirem a espécie que comeram é maravilhoso, mas a logística necessária é muito complexa, o custo é alto e provavelmente não aplicável na maioria das escolas.

O material padrão para essa parte da aula é uma figura com a **biblioteca de referência**, constituída de sequências de DNA de citocromo b dos bacalhaus verdadeiros e falsos (Fig. 5), bem como uma chave dicotômica para a identificação de cada espécie a partir da sequência (Fig. 6). Após a apresentação dessas sequências, cada grupo recebe uma sequência impressa que corresponde ao seu bolinho. As sequências (Fig. 5) podem ser impressas (3 por página, recortadas) em impressora colorida e entregues para cada grupo. As sequências devem ser identificadas por letras de A-E ou numeração de 1-5. Pode ser dito para os grupos que duas das sequências entregues são as dos bolinhos da dona Jane e de sua irmã na HQ (marcar a sequência de *Gadus macrocephalus* como a do bolinho da dona Jane e a sequência de *Polachius virens* como a da irmã da dona Jane).

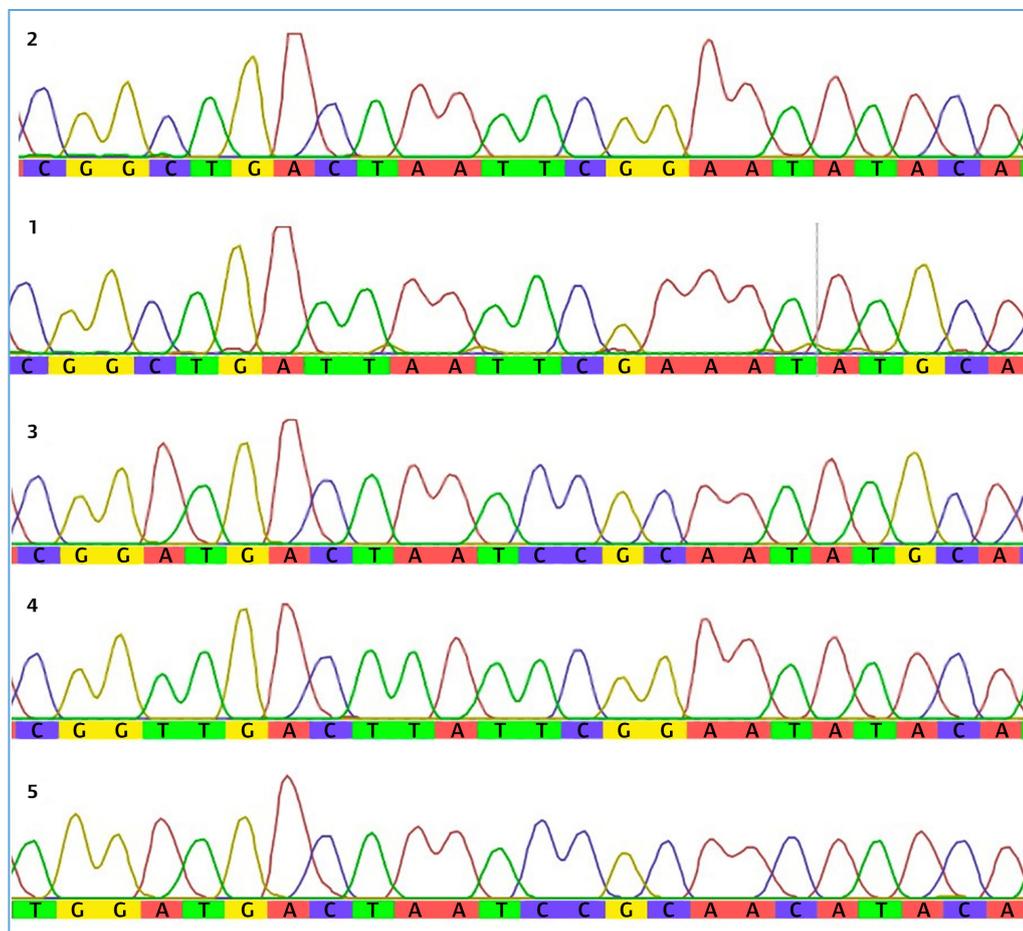


Figura 5. Sequências de um fragmento do gene citocromo b diagnóstico para espécies de peixes salgados secos. As espécies das sequências são: 1 - saithe; 2 - bacalhau porto imperial; 3 - zarbo; 4 - bacalhau “cod”; 5 - ling. Essas sequências podem ser impressas em um papel de gramatura maior (120 g/cm) e plastificadas para reuso, ou podem ser impressas em papel normal e entregues para os estudantes.

O caminho para a identificação das espécies correspondentes às sequências é uma chave dicotômica (Fig. 6) junto com a imagem das sequências (Fig. 5). A chave e a biblioteca de sequências podem ser projetadas, coladas ou desenhadas, para que a turma possa ver e com-

parar com as sequências em mãos. Assim, os estudantes colocarão em prática o que foi discutido na aula até então, identificando a espécie correspondente por comparação visual da sequência de DNA, e apontar se a espécie encontrada é de um bacalhau falso ou verdadeiro.

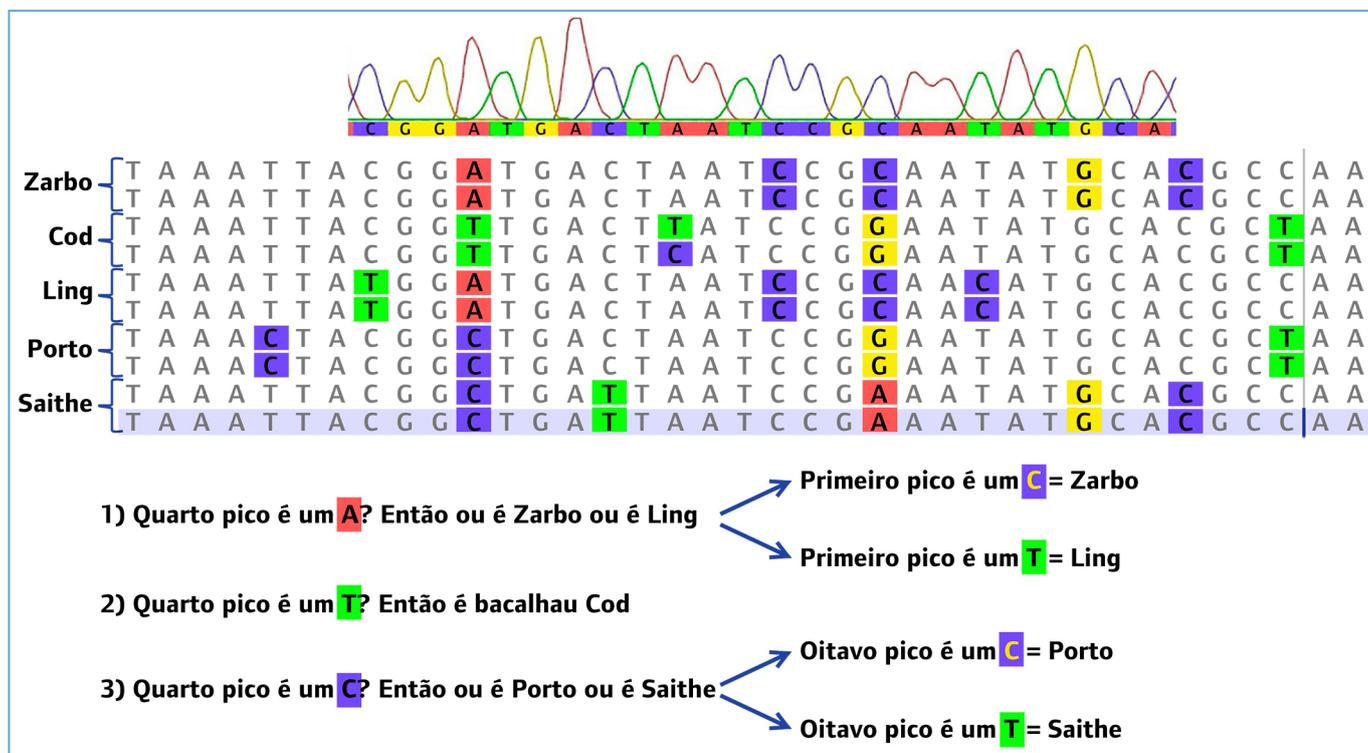


Figura 6. Alinhamento de um fragmento do gene citocromo b de espécies vendidas como “peixe salgado seco”. Os nucleotídeos diferentes entre as sequências estão coloridos. Para facilitar a identificação, é apresentada uma chave dicotômica que pode ser usada pelos estudantes para identificar a amostra.

As sequências identificadas serão conferidas conjuntamente com a(o) facilitadora(or) e os grupos podem falar para a turma qual o resultado que obtiveram. Nesse ponto, pode ser passada para a turma a parte final da HQ (Fig. 7).

Na finalização da aula, será então levantada uma última discussão na qual se propõe pensar o índice de substituição e fraudes na cadeia comercial de pescado no Brasil, assim como a motivação para tal, direcionando os estudantes a questionarem como isso pode afetar principalmente as espécies em risco e os estoques pesqueiros utilizados como fonte de consumo.

Experenciando a atividade

A implementação da atividade prática durante a aula permitiu que houvesse um diálogo entre os saberes cotidiano, científico e

escolar, através das discussões levantadas durante os momentos da aula. Assim, os conhecimentos dos estudantes sobre o mundo foram o ponto de partida para a construção do questionamento e da experimentação que caracterizam o método científico. A dinâmica discursiva proporcionou a construção de um diálogo entre saberes adquiridos no ensino de biologia e no cotidiano fora da escola o qual tornou fácil a assimilação dos conceitos de fraude e substituição, assim como suas consequências ao comércio pesqueiro. A base filogenética apresentada sutilmente sobre a semelhança e a diferença entre bacalhau e humano e entre bacalhau e sardinha funciona muito bem e serve de base bastante rápida para que os estudantes encontrem a maneira de resolver o mistério dos bolinhos. Nesse sentido, os estudantes participaram ativamente na construção do conhecimento sobre o que é uma análise de forense pesqueira, e ficaram, de uma maneira geral, muito contentes com suas

descobertas, particularmente ao chegarem à resposta sobre qual seria a espécie de seus

bolinhos (ou dos das personagens da história em quadrinho).



Figura 7. Quadrinhos 15 a 18 da história “Que bacalhau é esse?”. Nessa parte da história, Vanessa desvenda, da mesma forma que os estudantes fizeram, o mistério. O bacalhau da irmã de dona Jane era falso! Esse fechamento da história é importante por permitir o compartilhamento da experiência vivida pelos estudantes com o desenlace da história em quadrinhos.

Ao aplicar um questionário avaliativo para a turma sobre a atividade, constatou-se que os estudantes em geral gostam das dinâmicas no decorrer da mesma, sendo apontado pela maioria da turma a parte investigativa com as sequências de DNA para descobrir se o

bacalhau é verdadeiro ou falso como a parte favorita da aula (Fig. 8). Ressalta-se também a utilização do HQ dramatizada como um complemento positivo à aula sendo este alvo de interesse dos estudantes para interação e reflexão no processo de aprendizado.

