

Aprender brincando com o DNAaQUAFISH: um jogo didático interativo sobre DNA ambiental de rios da Amazônia

Learning by playing with DNAaQUAFISH: an interactive educational game about the environmental DNA of rivers in the Amazon

Aprender jugando con DNAaQUAFISH: un juego educativo interactivo sobre el ADN ambiental de los ríos del Amazonas

Recebido: 11/11/2021 | Revisado: 19/11/2021 | Aceito: 22/11/2021 | Publicado: 24/11/2021

Juliana Nascimento da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4027-1281>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: julianasnsilva@gmail.com

Larissa Matos Batista

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2294-5526>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: larimatosbatista@gmail.com

David Silva Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2045-0191>
Instituto Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: dsnogueira90@gmail.com

Natália Dayane Moura Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8513-0749>
Universidade do Estado do Amazonas, Brasil
E-mail: nathydayane@gmail.com

Jacqueline da Silva Batista

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6649-6200>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: jac@inpa.gov.br

Resumo

As aplicações científicas relacionadas a Genética estão cada vez mais presentes no cotidiano da humanidade, a partir disto, o ensino de genética nas escolas torna-se indispensável. Este ensino auxilia na ampliação do conhecimento dos estudantes, possibilitando e despertando o interesse na busca para esclarecerem suas dúvidas e curiosidades através de perguntas e levantamento de hipóteses, apresentando um comportamento criativo e buscando cada vez mais informações no âmbito científico. Por isso, propomos a elaboração do jogo didático “DNAaQUAFISH” para o ensino de genética a ser aplicado nas escolas, mas especificamente sobre o método científico intitulado de DNA ambiental (DNAa). Este recurso consiste em um jogo didático e interativo em que ocorre a simulação de coleta de amostras de água, em determinado ambiente aquático, e na detecção e identificação de espécies de peixes com o uso da metodologia do DNAa, dessa forma, almejamos que estudantes do ensino médio e de graduação em ciências biológicas e áreas afins conheçam sobre a aplicação, importância e outras questões relacionadas ao DNAa e a genética da conservação.

Palavras-chave: DNAa; Genética; Ciência; Escola.

Abstract

The scientific applications related to Genetics are increasingly present in the daily lives of humanity, and from this, the teaching of genetics in schools becomes indispensable. This teaching helps to expand the knowledge of students, enabling and arousing interest in the quest to clarify their doubts and curiosities through questions and raising hypotheses, showing a creative behavior and seeking more and more information in the scientific field. Therefore, we propose the elaboration of the didactic resource “DNAaQUAFISH” for the teaching of genetics to be applied in schools, but specifically on the scientific method called environmental DNA (eDNA). This resource consists of a didactic and interactive game in which the simulation of water sample collection takes place, in a given aquatic environment, and the detection and identification of fish species using the eDNA methodology. high school and undergraduate life sciences and related fields learn about the application, importance and other issues related to eDNA and conservation genetics.

Keywords: eDNA; Genetics; Science; School.

Resumen

Las aplicaciones científicas relacionadas con la Genética están cada vez más presentes en la vida cotidiana de la humanidad, y a partir de ello, la enseñanza de la genética en las escuelas se vuelve indispensable. Esta enseñanza ayuda a ampliar el conocimiento de los estudiantes, posibilitando y despertando el interés en la búsqueda de esclarecer sus dudas y curiosidades a través de preguntas y plantear hipótesis, mostrando un comportamiento creativo y buscando cada vez más información en el campo científico. Por ello, proponemos la elaboración del recurso didáctico “DNAaQUAFISH” para la enseñanza de la genética para su aplicación en las escuelas, pero específicamente sobre el método científico denominado ADN ambiental (ADNa). Este recurso consiste en un juego didáctico e interactivo en el que se realiza la simulación de la toma de muestras de agua, en un ambiente acuático determinado, y la detección e identificación de especies de peces mediante la metodología ADNa. la aplicación, la importancia y otras cuestiones relacionadas con el ADNa y la genética de la conservación.

Palabras clave: ADNa; Genética; Ciencias; Escuela.

1. Introdução

A ciência na escola

Com o crescente avanço da ciência e da tecnologia, e o ensino de temas a elas relacionados, torna-se cada vez mais desafiador aos profissionais da educação ensinar Ciência, visto que os assuntos científicos crescem continuamente em complexidade. Com isso, a construção do conhecimento correto e a aproximação dos estudantes ao tema, são muitas vezes difíceis de serem alcançados (Vidotto *et al.*, 2011). Genes e DNA passaram a fazer parte do cotidiano da sociedade, porém muitas vezes esses conceitos são entendidos de forma incorreta (Temp, 2011). Principalmente quando se trata de genética, as aplicações científicas relacionadas ao tema estão cada vez mais presentes na vida atual, a partir disto, torna-se indispensável à inserção do ensino de genética nas escolas, buscando com isso ampliar o conhecimento dos estudantes.

É por meio da mídia que grande parte dos temas científicos chega à população em geral, sendo a televisão e a internet os meios de maior propagação destas informações (Fonseca e Bobrowski, 2015). Portanto, o conhecimento sobre temas atuais em que se utiliza o conhecimento tecnológico pode aparecer em vários momentos na escola, nas disciplinas de ciências da natureza, por exemplo, com diferentes graus de especificidade. Pois, segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) o estudante necessita analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência e tecnologia, comparar diferentes posicionamentos de cientistas, ambientalistas, jornalistas sobre assuntos ligados à Ciência, avaliando a consistência dos argumentos e a fundamentação teórica.

No entanto, sabemos que um dos desafios atuais do ensino é fazer com que os estudantes entendam conceitos básicos de uma forma holística, e não uma memorização de tais assuntos fora de contexto. Contudo, ensinar atualmente, seja qual for o conteúdo ou matéria, ocorre de uma forma dividida, ou seja, os diferentes conteúdos não se correlacionam, acarretando assim na memorização de conceitos, e não o seu entendimento (Cardinali e Ferreira, 2010).

Quanto aos recursos didáticos, existem várias opções que podem ser utilizados pelos professores na intenção de propagar o conhecimento, como aula expositiva em quadro negro, exposição de filmes, aulas com o uso de slides em projetor multimídia e outros tipos de material didático. A aplicação de metodologias diferentes e atividades práticas, isto é, um método de ensino que tenha o estudante como o personagem central, que o desafiem a abandonar o papel de receptor passivo, mas que assuma o de principal responsável pela sua aprendizagem, pode ser um veículo para o alcance dos objetivos da escola e que devem ser levados em conta pelos educadores (Vidotto *et al.*, 2011).

Diante deste cenário, o estudante torna-se participante e atuante nas discussões de temas que envolvem a sociedade diante da necessidade de superar o modelo de ensino tradicional, baseado apenas na transmissão de informação, e fazer realmente uma educação em que tenha prazer em aprender e buscar o conhecimento (Gomes *et al.*, 2013).

Apesar da diversidade de material didático, existe o problema quanto à quantidade e disponibilidade desses recursos dentro dos estabelecimentos de ensino (Silva, Moraes e Cunha, 2011). Desta forma, o presente estudo propõe o desenvolvimento de um material didático, de simples elaboração e execução como forma de mitigar tal problemática, além deste material consistir

em um jogo didático e interativo que aborda a detecção e identificação de espécies de peixes com o uso da metodologia do DNA ambiental (DNAa) que ocorrem em rios de águas brancas, pretas e claras da região amazônica. Dessa forma, almejamos que estudantes do ensino médio e de graduação em ciências biológicas e áreas afins conheçam sobre a aplicação, importância e outras questões relacionadas ao DNAa e a genética da conservação de peixes.

Sobre o recurso didático

O DNAaQUAFISH é um jogo didático que aborda conceitos sobre DNA, DNA ambiental (DNAa), peixes da Amazônia, diversidade da ictiofauna, tipos de água dos rios da bacia amazônica, além de estudos de conservação de espécies, incluindo os de importância comercial. Esse recurso didático consiste na simulação de coleta de amostra de água em ambiente aquático da região amazônica e na identificação de espécies de peixes presentes nesse ambiente por meio de sequência de DNA. O principal objetivo é mostrar a existência de um método com o qual é possível detectar quais espécies de peixes amazônicos ocorrem em um determinado rio, seja de água preta, branca ou clara, a partir de uma amostra de água de cada um desses ambientes, sem precisar realizar nenhum tipo de pescaria.

O recurso auxiliará os estudantes a entenderem que o DNA está contido em elementos na natureza e que antes não se sabia sobre isso, dessa forma, permite o conhecimento sobre a diversidade faunística e florística de determinado meio, seja aquático, aéreo ou terrestre, sem a necessidade de capturar o organismo. Contudo, este trabalho tem como intuito mostrar a interdisciplinaridade, alinhando a genética com conceitos ecológicos.

Para que o recurso didático seja utilizado de forma efetiva, é necessário que o professor da disciplina de Biologia tenha trabalhado previamente os assuntos sobre citologia (célula animal e vegetal), moléculas de DNA (núcleo, cloroplasto e mitocôndria) e sobre as características de cada genoma. É desejável ter abordado ou abordar conhecimentos gerais sobre peixes. Assim, o recurso pode ser aplicado como uma forma de aprofundar os referidos conceitos, proporcionando a interação com conceitos científicos, formas de aplicação científica e experimental desses conceitos e a oportunidade de vivenciar e compreender uma atividade de laboratório de forma simples, estimulando a socialização entre os estudantes e o pensamento crítico frente as discussões obtidas após a execução da atividade.

O nome DNAaQUAFISH representa a aglutinação dos termos DNAa que significa DNA ambiental, aQUA para retratar os tipos de água dos rios da Amazônia que são abordados durante o recurso e FISH que significa peixe na língua inglesa, já que são os organismos alvos da atividade didática.

O que é DNA ambiental?

É o DNA que pode ser obtido em amostras ambientais tais como solo, água, ar ou gelo. O DNAa é oriundo de fragmentos de material biológico e/ou excretado pelos organismos e lançados ao ambiente por meio da saliva, esperma, secreção, ovos, fezes, urina, sangue, folhas, frutas, pólen, entre outros (Taberlet *et al.*, 2012; Bohmann *et al.*, 2014; Deiner e Altermatt, 2014; Turner *et al.*, 2014). É uma técnica que tem sido utilizada de forma eficiente para monitorar espécies invasoras, raras ou ameaçadas de extinção (Ruppert *et al.*, 2019), detectar e identificar espécies, estimar o tamanho populacional, desenvolver análises populacionais e genômicas, bem como determinar a biodiversidade local, chamada de *metabarcodes* de DNAa.

Biodiversidade da ictiofauna e tipos de água da bacia Amazônica

A América do Sul é descrita como possuidora da maior diversidade de peixes, com cerca de 9.100 espécies, quando comparada aos demais continentes do planeta Terra (Reis *et al.*, 2016). Desse total, 4.500 espécies de peixes são de água doce, e em torno de 2.000 espécies de peixes são encontradas na região amazônica, com uma porcentagem de 45% de espécies endêmicas, ou seja, espécies de peixes encontradas apenas na Amazônia (Carvalho *et al.*, 2019). A grande diversidade da

ictiofauna pode ser resultado das características peculiares dos tipos de água da região amazônica (água branca, clara ou preta) e das diferenças relacionadas ao clima, relevo e ao solo da localidade.

Os rios de águas brancas têm origem na cordilheira dos Andes, com um alto aporte de sedimentos ricos em nutrientes, o que lhe confere a característica de possuir águas turvas, com pH quase neutro (Ríos-Villamizar *et al.*, 2013). Os rios Solimões, Madeira, Amazonas, Japurá e Juruá são alguns dos exemplos de rios de água branca. Os rios de águas claras e pretas são provenientes da drenagem dos escudos da Guiana Pré-cambriana. As águas claras são caracterizadas por transportar poucos sedimentos, resultando em águas com alta transparência (Sioli, 1968; Junk, Soares, e Bayley, 2007; Ríos-Villamizar *et al.*, 2013). Como exemplo desse tipo de água, podem ser destacados os rios Tocantins, Xingu e Tapajós. Já os rios de águas pretas, possuem transparência superior aos rios de água branca, por apresentar baixa concentração de material em suspensão, porém, suas águas apresentam altas quantidades de ácidos húmicos que dão sua coloração mais escura, a partir da decomposição da vegetação, com o pH ácido (Junk, 1979; Ríos-Villamizar *et al.*, 2013).

2. Metodologia

Material necessário:

- Três baldes plásticos de 15 L. Sugestão: Podem ser substituídos por caixa de isopor/papelão ou organizadores de plásticos, o tamanho pode variar de acordo com a necessidade e quantidade de elementos que serão inseridos em cada balde.
- Seis folhas de E.V.A (acetato-vinilo de etileno) sendo duas de coloração preta, duas bege e duas cinzas. A quantidade de folhas de E.V.A pode variar dependendo do tamanho do recipiente a ser utilizado para representar os tipos de água;
- Três rolos de papel crepom, sendo um bege, um preto e um cinza;
- Folhas de papel A4 para imprimir imagens dos organismos a serem trabalhados, a sequência de DNA correspondente às espécies de peixes encontradas nos diferentes tipos de água, o banco de dados fictício e a tabela com informações sobre as espécies, contendo as lacunas a serem preenchidas pelos estudantes, com a quantidade de indivíduos por espécie dos quais realizaram a identificação genética;
- Microtubos de polipropileno de 1,5 mL, que seriam materiais de descarte de um Laboratório de Biologia Molecular. Podem ser substituídos por saquinhos de plásticos transparentes. Sugestão: utilizar material reciclável;
- Tinta guache com cores variadas;
- Pincéis de pelo (podem ser os de números 2 e 4);
- Tesoura;
- Fita adesiva;
- Cola branca;
- Palitos de dente;
- Caixa de isopor (Ex: sorvete);
- Copos plásticos de 50 mL (semelhantes ao de café);

Observação: Cada grupo deverá receber um banco de dados, uma tabela, uma caixa de isopor e um copo plástico.

Confecção do material

Em cada um dos três baldes (Figura 1), fixar a folha de E.V.A em torno de sua parte externa, com auxílio de fita adesiva, sendo que cada um deverá apresentar coloração bege, preta e cinza para representar os rios de água branca, preta e clara,

respectivamente. Revestir o interior do balde com papel crepom com a cor correspondente ao tipo de água representado pelo E.V.A para simular o movimento das águas. Sugere-se identificar cada balde com o nome de um rio que tenha a cor da água por ele representada, alguns exemplos são destacados na introdução. Imprimir imagens de peixes em papel A4 e com auxílio de cola branca colar as imagens em E.V.A. e em seguida colar no interior dos baldes, sendo que cada balde deverá conter espécies correspondentes a cada tipo de água. Sugerimos que sejam utilizadas 10 espécies por tipo de água, sendo que no rio de água branca serão utilizadas as espécies: acará-rói-rói, curimatã, dourada, jaraqui, matrinxã, piraíba, piramutaba, pirapitinga, tambaqui e tucunaré. No rio de água preta, as espécies de acará-disco, acará-rói-rói, candiru, mandi, matrinxã, piraíba, pirarara, surubim, tetra- cardinal e tucunaré. E, no rio de água clara serão utilizadas as espécies: acará-azul, curimatã, dourada, jaraqui, mapará, pescada branca, piau-voador, piraíba, tambaqui e tucunaré. Imprimir em papel A4 e recortar em tamanho adequado, as sequências de DNA fictícias representativa de um trecho do gene mitocondrial 12S para cada espécie, dobrá-las e inserir nos microtubos com auxílio de palito de dente. Podem conter cópias da mesma sequência nucleotídica no balde, representando mais de que um indivíduo da mesma espécie naquele determinado rio. Colorir a tampa dos microtubos para representar vestígios diferentes e depois da tinta seca, colocar os microtubos, contendo as sequências de DNA das espécies, impressas e dobradas em seu interior, nos baldes correspondentes ao tipo de água a qual àquelas espécies pertencem.

Figura 1: Modelo de balde que pode ser utilizado para representar um tipo de rio de água branca, clara ou preta da região amazônica.



Fonte: Autores.

3. Resultados e Discussão

O jogo didático foi realizado seguindo as etapas descritas na metodologia e resultou três baldes plásticos ornamentados para representar rios com os três tipos de água da bacia Amazônica (Figura 2A). Após a colagem das imagens dos peixes no interior dos baldes, pôde-se observar a possibilidade de o recurso representar um ambiente aquático, contendo diversas espécies de peixes, a partir de uma vista superior de cada balde (Figura 2B).

Figura 2: A- Vista lateral dos baldes confeccionados sendo que cada um representa um rio com um tipo de água; B- Vista superior dos baldes, expondo a figura dos peixes fixados nas paredes do balde e a disposição dos microtubos organizados em seu interior.



Fonte: Autores.

As tiras contendo as sequências de DNA fictícias foram recortadas em tamanho adequado (para encaixasse no microtubo) (Figura 3A), dobradas (Figura 3B) e inseridas dentro dos microtubos (Figura 3C). Após isso, a tampa dos microtubos foram coloridas com as cores rosa, amarela, vermelha, azul, verde e preta, representando diferentes vestígios das espécies de peixes que habitam ou habitaram o rio, como: barbilhão, urina, sangue, escama, tecido muscular e esperma, respectivamente (Figura 3D), para que possam ser utilizado como elemento representativo do DNA ambiental.

Figura 3: Preparação dos microtubos para representação do DNA ambiental. A- Microtubo e tira de papel abertos contendo a sequência de DNA; B- Microtubo aberto e tira de papel contendo a sequência de DNA dobrada; C- Microtubo fechado contendo a tira de papel com a sequência de DNA. D- Microtubos com tampas de colorações diferentes para representar diferentes tipos de elementos dos organismos aquáticos, contendo as sequências de DNA impressas.



Fonte: Autores.

Proposta de aplicação do jogo

Com o recurso didático elaborado, propomos sua aplicação em escolas de ensino médio e até mesmo em cursos de graduação em ciências biológicas e áreas afins, para que os estudantes possam conhecer sobre essa técnica, suas aplicações e importância, que é relativamente nova e têm contribuído muito para a ciência e sociedade. Para isso é imprescindível que o professor já tenha abordado sobre os temas mencionados na introdução e que siga as orientações éticas recomendadas pela resolução CNS 510/2016.

Dinâmica da atividade

1º Fase: Sorteio do tipo de água e desafio ou problema a ser solucionado

A turma deverá ser dividida em grupos, sendo que para cada tipo de água (balde) deverá participar de um a três grupos (Figura 4), vale ressaltar que a quantidade de estudantes por grupo irá variar dependendo da quantidade de estudantes da turma. Sugerimos entre 3 e 5 estudantes para melhor aproveitamento.

Figura 4: Esquema de proposta de divisão dos grupos de estudantes para os três tipos de água (representado pelos baldes) para a aplicação do jogo didático interativo DNAaQUAFISH.



Fonte: Autores.

O professor deverá sortear um tipo de água para cada um dos grupos, para isso, sugere-se que o professor disponibilize uma quantidade equivalente a quantidade de grupos de tiras de papel dobradas e com o nome dos três tipos de água e que solicite a um estudante de cada grupo que escolha uma tira de papel. Após o sorteio dos tipos de água, serão apresentadas aos grupos duas propostas de desafio exemplificadas abaixo. Os desafios expostos aqui são opcionais e o professor pode elaborar outros.

Proposta de desafio 1: Na região amazônica há rios de águas brancas, pretas e claras e uma equipe de profissionais de diferentes áreas (ecologia, genética, zoologia, limnologia, química, engenheiros de pesca, pescadores) recebeu um financiamento de uma fundação de conservação da biodiversidade. O objetivo é realizar o levantamento da ictiofauna de um trecho dos rios Negro, Solimões e Tapajós. No entanto, a metodologia sugerida no edital no qual o financiamento foi aprovado foi o uso de métodos que não utilizassem a captura de espécies.

Proposta de desafio 2: De acordo com uma pesquisa científica existem espécies de peixes (*Oreochromis niloticus*, *Trichopodus trichopterus*, *Poecilia reticulata*, *Xiphophorus hellerii* e *X. maculatus* e *Danio rerio*) não nativas de Manaus, mas que habitam determinados córregos com a vegetação desmatada e igarapés poluídos dentro da cidade. São espécies exóticas e invasoras, que segundo os autores, possivelmente foram introduzidas por piscicultores, criadores de peixes ornamentais ou mesmo descartadas por aquaristas amadores. Por causa deste problema foi proposto que um grupo de pesquisadores realizassem uma pesquisa de campo em três locais, com tipos diferentes de água, para confirmar a presença ou não de uma das espécies mencionadas acima, a *Poecilia reticulata*.

2º Fase: Coleta

Cada grupo deverá coletar o máximo de amostras de água (microtubos) dos diferentes rios (balde) com auxílio de um copo descartável de 50 mL, pelo menos duas vezes, e colocar na caixa de isopor, que simula um sequenciador automático de DNA.

3º Fase: Identificação taxonômica das espécies de peixes com auxílio da genética

Após a coleta, cada grupo receberá uma folha impressa em papel A4 contendo uma tabela com o nome popular, nome científico e imagem da espécie (Figura 5A). Nesta, os estudantes deverão preencher a primeira coluna com a quantidade de indivíduos de cada espécie que foram coletados e identificados, através da comparação das sequências de DNA obtidas durante as coletas com as sequências de DNA encontradas no banco de dados (Figura 5B).

Figura 5: Modelo de arquivos a serem impressos e disponibilizados aos grupos de estudantes. A- Tabela com o nome popular, nome científico e imagem da espécie para que os estudantes possam preencher a primeira coluna com a quantidade de indivíduos que identificaram. B- Banco de dados fictício contendo nome científico das espécies de peixes e as sequências de DNA correspondentes.



Aplicação da atividade

No início da atividade é imprescindível que o professor exemplifique a aplicabilidade do DNA para os estudos de genética e conservação, de forma que os estudantes compreendam a função de tal técnica para a sociedade e para a natureza. O professor pode explicar brevemente e simplificada os resultados de alguns estudos publicados (Barnes e Turner 2016, Bevilaqua, 2018; Bevilaqua *et al.* 2020; Sales *et al.*, 2020; Batista, 2020) entre eles trabalhos realizados na região amazônica em ambientes de água branca (Bevilaqua, 2018; Bevilaqua *et al.* 2020) e água preta (Batista, 2020). Por exemplo, o DNA na identificação de presença/ausência de espécies em dado ambiente (Bevilaqua, 2018), podendo ser espécies com perigo de extinção, espécies exóticas, quantificação de indivíduos da mesma espécie ou de parasitismo aplicado a piscicultura. Além disso, apresentar sobre as etapas que precedem o processo de identificação, como extração de DNA genômico, reação da cadeia da Polimerase (PCR), sequenciamento nucleotídico e análise e edição das sequências de DNA.

Durante a atividade, o professor atua solucionando possíveis dúvidas sobre a execução da atividade verificando e orientando sobre como analisar as sequências, verificar o nível de similaridade com o banco de dados e registrar as espécies identificadas na tabela. Após os registros, cada grupo terá uma quantidade diferente de indivíduos e de espécies de peixes

identificadas. O professor deverá colocar os dados dos resultados de cada grupo na lousa, a fim de que os estudantes possam verificar a quantidade de indivíduos por espécie e a quantidade de espécies por grupo em cada tipo de água. Cada grupo deverá efetuar a multiplicação entre a quantidade de indivíduos e a quantidade de espécies. Quanto maior a quantidade de espécies detectadas, bem como a quantidade de indivíduos por espécie, melhor será a representatividade da biodiversidade de peixes da localidade. Pois, para estudos de conservação, é imprescindível que se conheça a composição e distribuição das espécies para todos os habitats, como forma de monitorar os organismos antes e após as mudanças ambientais naturais ou antropogênicas.

O professor deverá mediar as discussões dos resultados obtidos pelos grupos entre eles, como exemplo, destacar qual grupo apresentou o maior número de espécies, fazendo uma analogia com o parâmetro ecológico denominado riqueza de espécies, ou qual grupo apresentou o maior número de indivíduos por espécie, relacionando assim, com o tipo de água, endemismo por tipo de água e sobre a própria técnica de DNAa, de como coletar em pontos diferentes e o efeito do número de coletas na quantidade de sequências de DNA obtidas.

Por fim, o professor deverá solicitar aos estudantes que respondam algumas questões relacionadas aos desafios propostos na 1ª fase, se selecionado o desafio um, sugere-se que utilize os seguintes questionamentos: Qual método utilizar? Quantas espécies de peixes as equipes encontraram em cada tipo de rio (riqueza de espécies)? Qual rio apresentou a maior número de indivíduos por espécie (abundância de espécies)? Quais seriam as explicações para o resultado encontrado? E para o segundo desafio, poderão ser utilizadas as seguintes questões: Quais outras espécies habitam os mesmos ambientes das espécies não nativas? Quais os impactos que espécies não nativas causam às populações naturais? Como solucionar ou minimizar o problema das espécies não nativas? Vale ressaltar que o professor poderá elaborar outros questionamentos e estimular que os grupos também elaborem e interajam entre si. Ao final do jogo, uma opção de atividade pode ser a elaboração de um novo problema ou desafio por cada equipe que poderá ser utilizado em outra partida.

4. Conclusão

O jogo “DNAaQUAFISH” é fácil de reproduzir, tem como característica importante a reutilização de material para que possa ser realizada em várias turmas, podendo cumprir com o papel no processo da divulgação científica acerca de trabalhos relacionados a Genética e conservação, neste caso, a da aplicação do DNAa. Além disso, os estudantes poderão relacionar a diferença nos resultados de cada grupo, possivelmente devido às diferenças nas características dos tipos de água, alinhando parâmetros ecológicos, químicos e físicos com os dados obtidos a partir da biologia molecular. Como proposta para trabalhos futuros, sugerimos a aplicação do recurso concomitantemente à validação, que deverá seguir as recomendações dispostas na resolução CNS 510/2016.

Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e ao Programa de Pós- Graduação em Genética, Conservação e Biologia Evolutiva (PPG-GCBEv). Aos órgãos financiadores CAPES pela concessão da bolsa de mestrado, FAPEAM/POSGRAD.

Referências

- Barnes, M. A., & Turner, C. R. (2016). The ecology of environmental DNA and implications for conservation genetics. *Conservation Genetics*, 17, 1–17.
- Beltrão, H., Zuanon, J., & Ferreira, E. (2019). Checklist of the ichthyofauna of the Rio Negro basin in the Brazilian Amazon. *ZooKeys*, 881, 53–89. <https://doi.org/10.3897/zookeys.881.32055>
- Bevilaqua, D. R. (2018). *Deteção e distribuição temporal de espécies de peixes em lagos de várzea na Amazônia Central utilizando DNA ambiental (DNAa)*. Manaus. 155 p. Tese (Doutorado em Ciências biológicas) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. (Orientador: Carlos Edwar de Carvalho Freitas).

- Bevilaqua, D. R., Melo, S. A., Freitas, C. E. C., Silva, A. C. V., & Batista, J. S. (2020). First environmental DNA (eDNA) record of central Amazon in a floodplain lake: extraction method selection and validation. *Brazilian journal of development*, 6 (11), 87606-87621.
- Bohmann, K., Evans, A., Gilbert, M. T. P., Carvalho, G.R., Creer, S., Knapp, M., *et al.* (2014). Environmental DNA for wildlife biology and biodiversity monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*, 29, 358–367.
- Cardinali, S. M. M., & Ferreira, A. C. (2010). *A aprendizagem da célula pelos estudantes cegos utilizando modelos didáticos tridimensionais: um desafio ético*. *Revista Benjamin Constant*, Ed. 46.
- Carvalho, A. P., Collins, R. A., Martinez, J. G., Farias, I. P., & Hrbek, T. (2019). From shallow to deep divergences: Mixed messages from Amazon basin cichlids. *Hydrobiologia*, 832, 317-329.
- Deiner, K., & Altermatt, F. (2014). Transport distance of invertebrate environmental DNA in a natural river. *PLoS ONE*, 9, 2.
- Fonseca, V. B., & Bobrowski, V. L. (2015). Biotecnologia na escola: a inserção do tema nos livros didáticos de Biologia. *Revista Acta Scientiae*, 17 (2), 496-509.
- Gomes, R. A., Souza, A. F., Cândido, J. H. B., & Oliveira, M. M. (2013). *Vivência de uma proposta educativa no ensino de biologia utilizando a sequência didática interativa a partir da temática da biotecnologia*. XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX – UFRPE.
- Junk, W. J. (1979). Recursos hídricos da região amazônica : utilização e preservação. *Acta Amazonica*, 9, 37–51.
- Junk, W. J., Soares, M. G. M., & Bayley, P. B. (2007). Freshwater fishes of the Amazon River basin: their biodiversity, fisheries, and habitats. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 10, 153–173.
- Reis, R. E., Albert, J. S., Di Dario, F., Mincarone, M. M., Petry, P., & Rocha, L. A. (2016). Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of fish biology*, 89, 12–47.
- Ríos-Villamizar, E. A., Piedade, M. T. F., Da Costa, J. G., Adeney, J. M., & Junk, W. J. (2013). Chemistry of different Amazonian water types for river classification: A preliminary review. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 178, 17–28.
- Ruppert, K. M., Kline, R. J., & Rahman, M. S. (2019). Past, present, and future perspectives of environmental DNA (eDNA) metabarcoding: A systematic review in methods, monitoring, and applications of global eDNA. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00547.
- Sales, N. G., Kaizer, M. da C., Coscia, I., Perkins, J. C., Highlands, A., Boubli, J. P., *et al.* (2020). Assessing the potential of environmental DNA metabarcoding for monitoring Neotropical mammals: a case study in the Amazon and Atlantic Forest, Brazil. *Mammal Review*, 50, 3.
- Silva, F. S. S., Morais, L. J. O., & Cunha, I. P. R. (2011). Dificuldades dos professores de biologia em ministrar aulas práticas em escolas públicas e privadas do município de imperatriz (MA). *Revista UNI*, 1, 135-149.
- Sioli, H. (1968). Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. *Amazoniana*, 1, 267–277.
- Taberlet, P., Coissac, E., Pompanon, F., Brochmann, C., & Willerslev, E. (2012). Towards next-generation biodiversity assessment using DNA metabarcoding. *Molecular Ecology*, 21, 2045–2050.
- Temp, D.S., Carpilovsky, C. K., & Guerra, L. (2011). Cromossomos, gene e DNA: Utilização de modelo didático. *Genética na Escola*, 6 (1), 9-11.
- Turner, C. R., Miller, D. J., Coyne, K. J., & Corush, J. (2014). Improved methods for capture, extraction, and quantitative assay of environmental DNA from Asian bigheaded carp (*hypophthalmichthys* spp.). *PLoS ONE*, 9, 1–20.
- Vidotto, T., Maesima-Cunha, R. M., Mehes, R., Moryama, N., Gallo, R. B., Nishio, E. K., Andrade-Maistro, V. I., Martins-Paiva, W. J., & Oliveira, V. L. B. (2011). *Abordagem diferencial no ensino de genética para alunos do ensino médio no projeto novos talentos em Londrina-PR*. In: V EREBIO-SUL, IV ICASE.