

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA EVOLUTIVA E BIOLOGIA
MOLECULAR

Marília Faustino da Silva

**NOVA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE BIOLOGIA MOLECULAR NA
EDUCAÇÃO BÁSICA**

São Carlos

2022

Marília Faustino da Silva

**NOVA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE BIOLOGIA MOLECULAR NA
EDUCAÇÃO BÁSICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular para obtenção do título de Doutor em Genética Evolutiva e Biologia Molecular.

Orientação: Prof^a Dr^a. Andréa Soares da Costa Fuentes

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

São Carlos

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO PARA FINS DE ESTUDO OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Silva, Marilia Faustino da

Nova proposta didática para o ensino de biologia molecular na educação básica / Marilia Faustino da Silva -- 2022.
41f.

Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos
Orientador (a): Andréa Soares da Costa Fuentes
Banca Examinadora: Anderson Ferreira da Cunha, Elson Longo da Silva, Leila Maria Beltramini, Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco, Andréa Soares da Costa Fuentes
Bibliografia

1. Educação básica. 2. Ensino de biologia molecular. 3. Software gamificado.. I. Silva, Marilia Faustino da. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Marília Faustino da Silva, realizada em 07/04/2022.

Comissão Julgadora:


Prof. Dra. Andrea Soares da Costa Fuentes (UFSCar)

Prof. Dr. Anderson Ferreira da Cunha (UFSCar)

Prof. Dr. Elson Longo da Silva (UFSCar)

Profa. Dra. Leila Maria Beltramini (IFSC/USP)

Profa. Dra. Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco (USP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular.

MARÍLIA FAUSTINO DA SILVA

Nova proposta didática para o ensino de biologia molecular na educação básica

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular para obtenção do título de Doutor em Genética Evolutiva e Biologia Molecular.

Orientação: Prof^a Dr^a. Andréa Soares da Costa Fuentes

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

Versão Corrigida
São Carlos
2022

Dedico essa tese a todos aqueles que acreditam que a educação pública de qualidade é o caminho que nos guia em direção à concretização de nossos sonhos. Obrigada mestres, professores e amigos por, junto comigo, acreditarem no potencial transformador da educação.

AGRADECIMENTO

Agradeço,

Primeiramente a Deus por me permitir viver tantas alegrias e conquistas nessa vida e por me dar sabedoria e discernimento em minhas decisões;

Aos meus pais, Donizete e Maria de Fátima pela educação, carinho, compreensão e incentivo dedicados a mim com tanto amor durante toda a minha vida;

Ao meu companheiro Áttis e meu filho Heitor, por todo amor e compreensão, apoio e dedicação;

À Prof^a Dr^a. Andrea Soares Costa Fuentes, por sua atenção e confiança, que durante todos os momentos deste doutorado me apoiou de forma extremamente humana e com um olhar sensível a todos os problemas por mim enfrentados nesse percurso. Da idealização à finalização deste trabalho, tem acreditado no meu potencial. Por servir de referência profissional que tanto admiro e respeito, a qual busco me espelhar, e por ter contribuído muito para o meu crescimento científico, intelectual e pessoal;

Ao amigo Gabriel Lima pelo apoio, parceria e ajuda ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À Prof^a Debora Gonzalez Costa Blanco – Dirigente Regional de Ensino pelas oportunidades, apoio e atenção durante a realização deste trabalho;

Ao Núcleo Pedagógico da Diretoria de Ensino de São Carlos, por todo o apoio durante a realização deste trabalho;

Às escolas estaduais da Diretoria de Ensino de São Carlos, em especial aos professores de Biologia participantes da pesquisa, cuja dedicação, envolvimento e empenho foram essenciais para concretização deste trabalho;

Aos colegas Heber, Daniela, Sâmara, Hellen e César pela ajuda, aconselhamentos e ensinamentos proporcionados, imprescindíveis para o desenvolvimento e finalização deste trabalho;

Aos Pós-doutorandos, doutorando, mestrandos e estudantes de iniciação científica que se envolveram em alguma etapa da execução deste projeto, por sua ajuda e comprometimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular, pela oportunidade de realização do curso de doutorado e contribuição para o meu crescimento científico e intelectual;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de doutorado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O ensino de ciências e biologia na educação básica tem por objetivo fornecer conteúdos mínimos para que indivíduos possam lidar com novas informações e que sejam capazes de entender, questionar e se posicionar diante de debates éticos oriundos do desenvolvimento e aplicações na área de Biotecnologia e Biologia Molecular. Todavia, o fluxo de informações geradas não é acompanhado pela difusão da informação científica no âmbito escolar, tampouco é incorporado ao saber docente de forma continuada. Além disso, o ensino de Biologia Molecular e seus conceitos correlatos, que envolvem grande capacidade de abstração por parte dos alunos, exige a elaboração e uso de recursos didáticos específicos. Neste contexto, esse trabalho teve com objetivos a organização, o desenvolvimento e aplicação de um curso de formação continuada oferecido a professores do ensino em educação básica focando no perfil docente da rede pública, suas necessidades e dificuldades relacionadas ao ensino de Biologia Molecular. A partir destes dados, desenvolveu-se um software *gamificado* denominado BIOQUEST, voltado para alunos do ensino médio. Em seguida, avaliou-se a usabilidade do software e o impacto na aprendizagem de conceitos correlatos à Biologia Molecular comparando-se resultados de um teste conceitual junto a alunos que fizeram uso do software BIOQUEST, e alunos que tiveram contato com os conceitos da forma tradicional de ensino. A análise de dados feita com base na utilização do BIOQUEST revelou que, o software pode ser utilizado como recurso pedagógico junto aos alunos da educação básica, uma vez que apresenta de forma lúdica os conceitos relacionados à Biologia Molecular, sendo bem avaliado em relação à usabilidade, exploração do jogo na totalidade, a relevância do assunto para a aprendizagem e facilidade de manipulação e navegação no jogo, além de ter impacto positivo na aprendizagem de conceitos.

Palavras-chave: educação básica, formação de professores, ensino, biologia molecular, software gamificado.

ABSTRACT

The teaching of science and biology in basic education aims to provide minimum content so that individuals can deal with new information and are able to understand, question and position themselves in the face of ethical debates arising from the development and applications in the area of Biotechnology and Molecular Biology. However, the flow of information generated is not accompanied by the dissemination of scientific information in the school environment, nor is it incorporated into teaching knowledge on a continuous basis. In addition, the teaching of Molecular Biology and its related concepts, which involve a great capacity for abstraction on the part of the students, requires the elaboration and use of specific teaching resources. In this context, this work aimed to organize, develop and implement a continuing education course offered to teachers in basic education, focusing on the teaching profile of the public network, their needs and difficulties related to the teaching of Molecular Biology. From these data, a gamified software called BIOQUEST was developed, aimed at high school students. Then, the usability of the software and the impact on the learning of concepts related to Molecular Biology were evaluated, comparing the results of a conceptual test with students who used the BIOQUEST software, and students who had contact with the concepts in the traditional way. Data analysis based on the use of BIOQUEST revealed that , the software can be used as a pedagogical resource with basic education students, since it presents the concepts related to Molecular Biology in a playful way, being well evaluated in relation to usability. , exploration of the game in its entirety, the relevance of the subject for learning and ease of manipulation and navigation in the game, in addition to having a positive impact on the learning of concepts.

Keywords: basic education, teacher training, teaching, molecular biology, gamified software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Homologação do Curso no Diário Oficial do estado de São Paulo.....	22
Figura 2 - BIOQUEST - (A) Tela de abertura do software; (B) Tela de navegação.....	25
Figura 3 – Utilização do software BIOQUEST na Escola 1 (A), Escola 2 (B) e Escola 3 (C) durante o mês de novembro de 2019.....	27
Figura 4 – Tela da fase 1 do BIOQUEST.....	35
Figura 5 – Etapa da Fase 1 que requer atenção do estudante.....	36
Figura 6 – Tela da Fase 2 BIOQUEST	37
Figura 7 – Posicionamento das enzimas de restrição - Fase 2 BIOQUEST.....	38
Figura 8 – Finalização da Fase 2 BIOQUEST.....	39
Figura 9 – Tela da fase 3 BIOQUEST	40
Figura 10 – Fase 3 BIOQUEST – Perfil Eletroforético.....	41
Figura 11 – Fase 4 BIOQUEST – Digestão de plasmídeos	42
Figura 12 – Fase 5 BIOQUEST	43
Figura 13 – Fase 5 BIOQUEST.....	44
Figura 14 – Fase 6 BIOQUEST	45
Figura 15 – Fase 7 BIOQUEST.....	46
Figura 16 – Fase 7 BIOQUEST.....	47
Figura 17 – Fase 8 BIOQUEST.....	48
Figura 18 – Fase 8 BIOQUEST.....	49
Figura 19 – Fase 8 BIOQUEST.....	50
Figura 20 – Fase 8 BIOQUEST.....	51
Figura 21 – Fase 8 BIOQUEST.....	52
Figura 22 – Frequência de valor atribuído a cada afirmação avaliada na tabela 2.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Curso de formação continuada em Biologia Molecular: princípios, técnicas e aplicações no Ensino Fundamental e Médio.....	22
Tabela 2 – Questões utilizadas para avaliar a percepção dos estudantes sobre o uso do jogo.....	27
Tabela 3 – Onde professores da educação básica buscam informações atualizadas sobre Biologia Molecular.....	30
Tabela 4 – Compreensão do professor acerca do termo Biologia Molecular.....	31
Tabela 6 – Desconhecimento de conceitos relacionados à Biologia Molecular por parte dos professores da Educação Básica.....	32
Tabela 7 – Avaliação do curso de formação continuada oferecido feita pelos professores cursistas.....	33
Apêndice	
Tabela A-1 - Questionário de avaliação do "Curso de formação continuada em Biologia Molecular: princípios, técnicas e aplicações no Ensino Fundamental e Médio".....	66
Tabela A-2 - Questões usadas para avaliar o impacto do jogo sobre a aprendizagem de conceitos relacionados à Biologia Molecular.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DER São Carlos – Diretoria de Ensino Região de São Carlos

ATPC - Aula de Trabalho Pedagógico Coletivo

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

PCNP – Professor Coordenador de Núcleo Pedagógico

PPGGEV – Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	BREVE PANORAMA SOBRE O ENSINO DE BIOLOGIA MOLECULAR NA EDUCAÇÃO BÁSICA	14
2	PRESSUPOSTOS TEÓRICOS/ FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	REVISÃO DA LITERATURA – ENSINO DE BIOLOGIA MOLECULAR UTILIZANDO JOGOS	17
2.2	OBJETIVOS	19
3	METODOLOGIA/ PERCURSO METODOLÓGICO/ MATERIAIS E MÉTODOS 20	
3.1	DELINEAMENTO DO PERCURSO METODOLÓGICO DESENVOLVIDO NESTA PESQUISA	20
3.1.1	Desenvolvimento do Curso de Formação Continuada para Professores da Educação Básica	21
3.1.2	O Desenvolvimento do Software Gamificado BIOQUEST	24
3.1.3	Intervenção e Tomada de dados	26
3.1.4	Aplicação de um questionário para analisar o impacto do jogo sobre a aprendizagem dos estudantes	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	SOFTWARE BIOQUEST	35
4.1.1	Fases do jogo	35
4.2	TESTAGEM E AVALIAÇÃO DO USO DO SOFTWARE BIOQUEST	53
5	CONCLUSÕES FINAIS	59
6	PUBLICAÇÃO DE ARTIGO CIENTÍFICO	61
7	ATIVIDADES ACADÊMICO/CIENTÍFICAS	61
	APENDICE – A	67
	ANEXO – A	73
	ANEXO – B	76
	ANEXO – C	77

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente divulgação nos meios de comunicação sobre tecnologias que são originados de áreas como a Biotecnologia e a Biologia Molecular, termos como transgênicos, proteínas recombinantes, vacinas, fármacos e testes genéticos, têm se tornado mais presentes na vida cotidiana, fazendo com que as pessoas lidem com informações e tomem decisões ou posicionamentos de acordo com seu entendimento e conhecimento sobre tais termos e assuntos. Porém, a difusão do conhecimento científico não acompanha a taxa de desenvolvimento da ciência. Assim, faz-se necessário que ações de difusão científica ocorram com maior frequência, dada a demanda por novas informações advinda da introdução na sociedade de novos saberes e tecnologias. Tais medidas podem ocorrer em diferentes âmbitos, na educação em espaços não formais como museus, exposições e cursos —ou na educação formal, por meio do uso de objetos de aprendizagem atualizados, ou por meio da atualização de professores da educação básica, seja através de cursos de pós-graduação ou de formação continuada. Deve-se considerar a existência de uma lacuna tempo proveniente da transposição didática do conhecimento produzido pela ciência e seu desdobramento em conhecimentos acadêmicos a serem veiculados nas escolas e incorporados em sala de aula.

Sabe-se que a educação formal no Brasil tem passado por um período de desvalorização, que se reflete em copiosos problemas. Dentre eles, o sucateamento do trabalho docente, com número de aulas excessivo e salários baixos, grande quantidade de alunos por sala e ausência de materiais e recursos de qualidade para as escolas e elevado quórum de alunos que não são sequer efetivamente alfabetizados. Quando comparado a outros países avaliados pelo PISA 2015, a educação em ciências e matemática no Brasil recebe uma das piores colocações. Em relação aos países sul americanos, fica somente a frente do Peru. Em contrapartida, Chile e Argentina obtiveram os maiores escores da América Latina devido às políticas governamentais de investimento na educação (CORNEJO, 2006). Em resultados mais recentes da avaliação PISA, o Brasil continua em posições muito baixas nas escalas de proficiência relacionadas às ciências e matemáticas, revelando uma tímida melhora em relação ao seu próprio desempenho histórico, porém muito aquém do esperado. (BRASIL, 2020)

Uma das razões para esse fracasso escolar em nosso país é a falta de qualificação de professores (VIEIRA; MORAES; VIEIRA, 2014) desde sua formação inicial. Somado a esses problemas, também se observa a questão da dificuldade dos alunos em entender/formar modelos de conceitos abstratos ou que exijam abstração, como os conceitos inerentes das áreas de física, química e biologia. Segundo Cook e colaboradores (2008) a dificuldade em entender

representações macroscópicas, moleculares e simbólicas ainda pode variar entre alunos que possuem diferentes níveis de conhecimento prévio sobre o assunto.

O escopo deste trabalho é o ensino de Biologia Molecular na educação básica. Para tanto, é necessário que conheçamos o suficiente sobre este cenário. Destacamos que as questões levantadas compõem um recorte do cenário no qual este trabalho se insere e que não esgotam todos os problemas que possam interferir no ensino, não só de biologia molecular, mas como das demais áreas do conhecimento.

1.1 BREVE PANORAMA SOBRE O ENSINO DE BIOLOGIA MOLECULAR NA EDUCAÇÃO BÁSICA

As áreas de genética e a biologia molecular estão inseridas no currículo escolar da educação básica de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 1999). Considerando que o desenvolvimento dessas áreas de pesquisa (entre outras) também trazem à tona aspectos éticos, filosóficos e até mesmo provocam questionamentos de origem mais profunda envolvidos na produção e aplicação do conhecimento científico e tecnológico, chamando à reflexão sobre as relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade, faz-se necessária uma atualização constante de professores da educação básica. Nesse sentido, a aprendizagem continuada por parte dos docentes de todas as áreas do conhecimento incluindo a biologia, os permite um posicionamento criterioso relativo ao conjunto das construções e intervenções humanas no mundo contemporâneo.

Segundo as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002) o ensino de Biologia está sintetizado em seis temas estruturadores: i. interação entre os seres vivos; ii. qualidade de vida das populações humanas; iii. identidade dos seres vivos; iv. diversidade da vida; v. transmissão da vida, ética e manipulação gênica; e vi. origem e evolução da vida. A Biologia Moderna, aqui entendida pela biologia molecular e biotecnologia moderna (QUIRINO, 2008) e seus conceitos subjacentes estão inseridas no currículo escolar da educação básica, distribuídas ao longo das séries finais do ensino fundamental de forma mais superficial e no ensino médio de forma mais aprofundada, fazendo parte principalmente dos temas estruturadores Identidade dos seres vivos e Transmissão da vida, ética e manipulação gênica.

A Base Nacional Comum (BRASIL, 2018) relaciona o ensino de Biologia Molecular à competência específica de ciências da natureza e suas tecnologias para o ensino médio:

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens

próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (BRASIL, 2018, p.553)

Segundo o mesmo documento “para o desenvolvimento dessa competência específica podem ser mobilizados conhecimentos conceituais relacionados a: aplicação da tecnologia do DNA recombinante; identificação por DNA” (BRASIL, 2018, p. 559) relacionando à essa competência a habilidade: (EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista. (BRASIL, 2018, p. 560).

Por se tratar de uma área interdisciplinar, ainda podemos relacionar que os conceitos correlatos da biologia molecular também se encontram presentes no currículo de química e de física inserido no ensino da estrutura da matéria ao nível molecular e atômico. As Orientações Curriculares Nacionais trazem uma lista de assuntos que podem ser articulados aos conteúdos programáticos de base comum, dentro o ensino de química, que se relacionam intimamente com a biologia molecular:

representação da estrutura molecular da melanina; relação entre quantidade de melanina e cor da pele; comparação entre textos científicos e de comunicação ligados a teorias raciais do século XIX até as dos anos 1950 do século XX, com as comunicações científicas sobre o DNA do século XXI, presentes em várias fontes; discussão sobre Bioética, eugenia, DNA, colesterol, drogas; estudo sobre permanentes, alisamentos, descoloração, tingimento, ação de condicionadores em cabelos (BRASIL, 2006).

Apesar dessas temáticas estarem inseridas no currículo escolar, segundo Moura e colaboradores (2013) em um trabalho de revisão sobre o ensino de genética nas escolas públicas brasileiras, existe um “abismo” entre o ensino e os acontecimentos diários dos alunos em meio à sociedade na qual eles estão inseridos, causado por diversos fatores, tais como: a precarização da formação docente, excessivas cargas horárias de trabalho, utilização do livro didático como instrumento único de ensino, conteúdos abstratos e superficiais, ausências de aparato tecnológico no ambiente escolar, ausência de atividades interdisciplinares e contextualizadas.

2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS/ FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A compreensão dos conceitos relativos às áreas de biologia molecular e biotecnologia começa nos anos finais do ensino fundamental, quando são apresentados ao estudante termos como célula, DNA, proteínas, uso biotecnológico de microorganismos. Isso é importante para relacionar e entender conceitos e processos mais complexos, além de possibilitar a análise e tomada de decisão diante de temas que envolvam ciência, tecnologia e sociedade. Assim é fundamental o domínio destes conceitos por professores e estudantes para uma aprendizagem significativa.

Observa-se na literatura, publicações que evidenciam desafios no ensino de biologia molecular.

Cirne (2013) evidenciou que poucos estudos abordam as dificuldades de aprendizagem de conteúdos de biologia estudados no ensino fundamental, especialmente as noções básicas de genética e de biologia celular. Além disso, em pesquisa realizada com estudantes do 8º ano de uma escola estadual do estado do Rio Grande do Norte, detectou a dificuldade deles em relacionar os conceitos de gene, DNA e cromossomo.

Kazitoris e Neto (2015) apontam, em um estudo que averiguou concepções alternativas (dos sujeitos analisados) em biologia, documentadas em dissertações e teses de 1972 a 2012, que os temas hereditariedade, reprodução sexuada, transgênicos e DNA foram bastante explorados nos trabalhos analisados. As concepções prévias evidenciam a dificuldade em aprender conceitos científicos como: Lei de Mendel, teoria cromossômica, mitose, meiose e a localização do material genético. Ademais não entendem célula como unidade morfofisiológica, imaginam que o material genético se restringe aos mamíferos e está presente apenas no sangue. Não concebem a existência de outros tipos de célula, tão pouco percebem o DNA como parte de todas as células, e a relação entre DNA e transgênicos ou DNA e as características fenotípicas.

Em um trabalho que analisou os recursos didáticos adotados pelos professores de biologia e ciências das escolas públicas, Moura e colaboradores (2013) afirmam que a utilização do livro didático como instrumento único de ensino, com conteúdos abstratos e superficiais, também é um problema relevante que aumenta o abismo entre a realidade e os conhecimentos obtidos na escola. Dessa maneira, sendo ou não instrumento único de ensino, é necessária a avaliação de como a Nova Biologia está inserida nos livros didáticos do ensino médio.

Xavier, Freire e Moraes (2006) analisaram, em 18 livros didáticos a presença de temas associados à Nova Biologia: transgênicos, Projeto Genoma, clonagem de mamíferos, células-

tronco, teste de paternidade, variabilidade genética, melhoramento genético, DNA recombinante, hibridação, sequenciamento, enzimas de restrição, plasmídeos, íntrons e éxons, eletroforese e PCR. Dessa análise, salientam-se os seguintes pontos:

- i. Temas, como sequenciamento e eletroforese, são citados em algumas das obras analisadas, sem conter nenhuma explicação. sendo sequenciamento o mais prejudicado, citado uma única vez;
- ii. Os resultados dessa pesquisa apontam que as atualizações nos livros didáticos são as mesmas feitas em 1997 por Amaral e Megid-Neto (1997) apud Xavier et al. (2016);
- iii. Em relação às ilustrações sobre os tópicos pesquisados, é importante destacar que alguns temas que foram citados não possuem ilustrações.

Os autores supracitados ratificam que a abordagem da Biologia Moderna apresentada em livros didáticos não contribui para o estudante tornar-se um cidadão crítico.

Em âmbito nacional esses e outros trabalhos da área (CIRNE, 2013; FONTES et al., 2013; TAUCEDA; PINO, 2010; JUSTINA et al., 2003) indicam que o ensino da Biologia Molecular e seus conceitos subjacentes encontram muitos obstáculos. Tais conceitos devem ser estudados com aprofundamento no âmbito da pesquisa em ensino de biologia molecular e áreas correlatas como bioquímica e genética.

2.1 REVISÃO DA LITERATURA – ENSINO DE BIOLOGIA MOLECULAR UTILIZANDO JOGOS

Em âmbito global, pesquisas têm mostrado que o uso de experimentação (STOLARSKY BEN-NUN; YARDEN, 2009) e de recursos diversificados como jogos, podem melhorar a qualidade da aprendizagem de temas que exigem abstração de conceitos, além de tornar o ensino mais motivador (SEVERO; KASSEBOEHMER, 2017; SPIEGEL et al. 2008; CARDOSO et al., 2008).

Segundo Mascarenhas e colaboradores (2016) a exploração do aspecto lúdico de diferentes atividades práticas mostra-se como uma ferramenta eficaz, visto que promove a melhora significativa na qualidade do ensino-aprendizagem e dá oportunidade para que os estudantes participem ativamente das aulas, formulando questionamentos e soluções para problemas propostos.

O uso de tecnologias da informação e comunicação, como aplicativos, animações, vídeos, jogos educativos e/ou softwares gamificados (MARBACH-AD et al., 2008; CHENG; LYN, SHE, 2015). Jogos e aplicativos (entre outros) podem servir de suporte para a

aprendizagem, possibilitando o desenvolvimento do conhecimento de maneira divertida e interativa, aumentando a motivação dos estudantes (CARVALHO; GUIMARÃES, 2016).

Apesar de Kim, Park e Baek (2009) afirmarem que jogos podem melhorar a capacidade dos estudantes em resolver problemas sociais, deve-se considerar que a aceitação por parte dos estudantes nem sempre é garantida. Nesse interim, deve-se observar a experiência, imersão dos estudantes e a acessibilidade e usabilidade do jogo, como apontam Bourgonjon e colaboradores (2010).

No que tange aos jogos de computador voltados para o ensino de Biologia Molecular e assuntos correlatos a literatura apresenta diversos jogos, dentre eles, destacam-se Sintetizando Proteínas (CARVALHO et al. 2014), Hangman (PENNINGTON et al., 2014), Imune Attack (STEGMAN, 2014) e MolWorlds (GAUTHIER, A.; JENKINSON, 2017).

Sintetizando proteínas é um jogo produzido para estudantes da educação básica (ensino fundamental e médio) cujo objetivo é identificar as etapas da síntese proteica em uma célula eucariótica, as estruturas e organelas envolvidas no processo, a importância do papel biológico das proteínas e a relação entre DNA, RNA e proteínas. (CARVALHO et al. 2014)

Hangman é um puzzle que permite que o estudante pratique o desenho das estruturas dos aminoácidos e relacioná-los à sua representação de 1 letra, é um jogo voltado para estudantes universitários. (PENNINGTON et al., 2014)

Immune Attack (STEGMAN, 2014) é um jogo em terceira pessoa em que o jogador deve ativar proteínas específicas para provocar comportamentos específicos de vários glóbulos brancos do sangue. Os jogadores percorrem as veias através de micro-robôs e nano-robôs passam pelo tecido conjuntivo e chegam à superfície dos glóbulos brancos onde recebem diferentes instruções para ativar determinadas proteínas e resolver falhas no sistema imunológico do paciente.

Segundo a autora, nenhuma explicação sobre o que é uma proteína é dada, no entanto os estudantes que usaram o jogo referido foram capazes de obter score maior em um questionário contendo questões de Biologia Molecular em detrimento daqueles que não o jogaram. Essa referência evidencia que ainda existem muitas possibilidades a serem exploradas no âmbito de serious games para o ensino de biologia molecular, voltado para à educação básica.

MolWorlds: jogo em 3ª pessoa que permite que o estudante vivencie processos celulares como por exemplo (tradução do RNA entre outros processos) onde ele consegue manipular variáveis como a temperatura e concentração molecular, por exemplo. (GAUTHIER, A.; JENKINSON, 2017).

Diante do exposto, este trabalho visa analisar a aprendizagem de conceitos relacionados a Biologia Molecular utilizando como ferramenta um software gamificado/jogo educativo chamado BIOQUEST, investigando se o jogo influencia na aprendizagem desses conceitos, quando comparada à abordagem tradicional utilizada nas escolas de educação básica. E se a experiência prévia em jogos pode influenciar a utilização e avaliação dessa ferramenta por parte dos estudantes.

2.2 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo analisar a aprendizagem do ensino em Biologia Molecular e seus conceitos correlatos utilizando como ferramenta um software gamificado/jogo educativo e comparar com a abordagem tradicional de aprendizagem utilizada nas escolas do ensino fundamental e médio.

2.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Desenvolvimento e aplicação de um curso de formação continuada oferecido a professores do ensino em educação básica focando no perfil docente da rede pública,
- Entender as necessidades e dificuldades relacionadas ao ensino de Biologia Molecular.
- Desenvolvimento um software *gamificado* denominado BIOQUEST
- Analisar aprendizagem do ensino em Biologia Molecular utilizando como ferramenta o software BIOQUEST.

3 METODOLOGIA/ PERCURSO METODOLÓGICO/ MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DELINEAMENTO DO PERCURSO METODOLÓGICO DESENVOLVIDO NESTA PESQUISA

Considerando a produção de um objeto de aprendizagem realmente relevante ao sistema educacional, julgou-se pertinente investigar juntos aos professores da rede pública seus saberes e dificuldades relacionados ao ensino de biologia molecular e seus conceitos correlatos, para num segundo momento, com base nessas necessidades, elaborar e testar uma ferramenta que pudesse ser utilizada em sala de aula com os estudantes. Assim, este trabalho se dividiu em duas frentes: o mapeamento das dificuldades e necessidades relacionados ao ensino de biologia molecular dos professores da rede pública feito durante um curso de formação continuada para professores da educação básica e o desenvolvimento e aplicação de um software gamificado para o ensino de biologia molecular e seus conceitos correlatos.

A primeira etapa desse trabalho consistiu na realização de um curso de formação continuada para professores da rede estadual de ensino, em São Carlos- SP, durante o mês de Agosto/2017, com participação de 11 docentes.

Para traçar o perfil dos professores, utilizou-se um questionário contendo questões fechadas e abertas (GIL, 2006) (ver Quadro 1 em Apêndice A). Segundo o mesmo autor, as questões fechadas apresentam ao respondente um número de alternativas de resposta para que seja escolhida a que melhor representa sua situação ou ponto de vista. Já as questões dependentes ou relacionadas são aquelas que dependem da resposta de uma questão anterior. Para ele, o questionário apresenta vantagens como: não se limita à proximidade geográfica, pode ser aplicado a um grande número de pessoas, não exige treinamento para a aplicação, garante o anonimato das pessoas, permite que as pessoas respondam no momento mais conveniente para elas e diminui a influência do pesquisador sobre o entrevistado. Devem-se considerar também as limitações que este instrumento apresenta como a exclusão de analfabetos, impede o esclarecimento de dúvidas/instruções relativas ao questionário, impede o conhecimento das circunstâncias em que foi respondido, envolve um número relativamente pequeno de perguntas, pode gerar distorções, uma vez que os itens podem ter significados diferentes para cada indivíduo (GIL, 2006).

Tal questionário fora adaptado do trabalho de Camargo e colaboradores (2007). Sua aplicação buscou levantar qual o perfil dos docentes, público-alvo do trabalho desenvolvido, bem como a relação com o ensino de Biologia Molecular na educação básica.

Durante essa formação, por meio dos questionários mencionados e da interação com os participantes, foi possível conhecer o perfil dos professores de ciências e biologia da educação básica e levantar dados como: a formação, perfil profissional e práticas pedagógicas para o ensino de conceitos de biologia molecular.

3.1.1 Desenvolvimento do Curso de Formação Continuada para Professores da Educação Básica

O “Curso de formação continuada em Biologia Molecular: princípios, técnicas e aplicações no Ensino Fundamental e Médio” atendeu a uma exigência da CAPES em relação ao Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular desenvolvendo atividades de divulgação científica e aproximando universidade e escolas da rede pública.

Por meio de atividades teórico-prático de biologia molecular para professores de Ciências e Biologia da rede pública (municipal e estadual) da Diretoria de Ensino da Região de São Carlos, atendeu às cidades de São Carlos, Ibaté, Itirapina, Ribeirão Bonito, Corumbataí, Descalvado e Dourado.

O curso distribuiu-se ao longo do mês de agosto de 2017, com horários variando entre terças, quintas-feiras e/ou sábados e contou com a colaboração de pós-doutorandos, que ministraram palestras e atividades práticas com ajuda e participação dos professores da rede pública, também estudantes do programa: a autora e os estudantes de Mestrado (ano de 2017) Hellen Ramos e César Augusto dos Santos.

O curso de formação continuada foi uma parceria estabelecida com a Secretaria da Educação por meio da Diretoria de Ensino Região de São Carlos e forneceu certificação válida para progressão de carreira docente, como mostra o recorte do Diário Oficial do Estado de São Paulo de 22 de setembro de 2017, p.24.

FIGURA 1: HOMOLOGAÇÃO DO CURSO NO DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO.

DIRETORIA DE ENSINO - REGIÃO DE SÃO CARLOS

Portarias do Dirigente Regional de Ensino, de 21-9-2017

Homologando:

o Curso de Atualização: "Biologia Molecular: Princípios, Técnicas e Aplicações no Ensino Fundamental e Médio", autorizado pela Portaria EFAP de 26/06/2017, DOE de 27/06/2017, realizado no período de 03/08/2017 a 26/08/2017, com 30 horas, em São Carlos/Universidade Federal de São Carlos;

Fonte: Diário Oficial do Estado de São Paulo de 22 de setembro de 2017, p.24.

A tabela apresenta o cronograma do curso, palestrantes e tema dos encontros.

TABELA 1: Curso de formação continuada em Biologia Molecular: princípios, técnicas e aplicações no Ensino Fundamental e Médio

Encontro - Data	Tema	Palestrantes
1- 03/08/2017	Palestra: Estrutura e função do DNA e RNA em procariotos, eucariotos e perpetuação da informação genética - a replicação	Patricia Brassolatti
2- 08/08/2017	Aula prática: O princípio transformante, realização do experimento adaptado de Griffith's	Carolina de Barros Machado da Silva, Heber dos Santos Tavares, Daniela Morilha Neo Justino
3- 10/08/2017	Palestra: Decodificando o DNA: transcrição, tradução e síntese de proteínas.	Uliana Sbeguen Stotzer
4- 16/08/2017	Aula prática: Digestão de plasmídeo com enzimas de restrição EcoRI e BamHI e visualização dos fragmentos através da eletroforese em gel de agarose e PCR	Camilla Alves Santos, Heber dos Santos Tavares

5- 17/08/2017	Aula Prática: Teste de Paternidade em Bovinos: extração de DNA, PCR e corrida eletroforética em sequenciador automático MegaBace.	Terumi Hatanaka, Katia Maria Ferreira
6- 19/08/2017	Aula Prática: Expressão GFP	Daniela Morilha Neo Justino, Dayelle Toyama e Heber dos Santos Tavares
7- 22/08/2017	Genética Molecular	Gislaine Angelica Rodrigues Silva
8- 24/08/2017	Ciências Ômicas: ferramentas e abordagens	Vinícius Marquioni Monteiro
9- 26/08/2017	Roda de Conversa: Sugestões de atividades sobre o conteúdo do curso que podem ser utilizadas em sala de aula	Marília Faustino da Silva e Hellen Ramos

Fonte: Acervo pessoal da autora.

Avaliou-se o curso por meio de um questionário padrão utilizado pela Diretoria de Ensino Região de São Carlos (ver Tabela A-1 em Apêndice A), cujas perguntas buscaram identificar o nível de satisfação do professor com as atividades realizadas durante o curso, desempenho dos ministrantes do curso e aplicabilidade das propostas em sala de aula.

A partir dessas informações, foram identificadas algumas lacunas conceituais que os professores possuem em relação às técnicas utilizadas na biologia molecular, tais como, tecnologia do DNA recombinante, digestão de DNA com enzimas de restrição, PCR, marcadores moleculares, eletroforese em gel de agarose, clonagem molecular, eletroforese em gel de poliacrilamida e cromatografia.

Durante esse curso foi possível, por meio de um questionário e da interação com os participantes, conhecer o perfil dos professores de ciências e biologia da educação básica e levantar dados como: a formação, perfil profissional e práticas pedagógicas para o ensino de conceitos de biologia molecular.

3.1.2 O Desenvolvimento do Software Gamificado BIOQUEST

A partir dos dados obtidos dos questionários iniciou-se o desenvolvimento do software gamificado BIOQUEST, que apresenta nove fases e tem como público-alvo os estudantes do ensino médio, ou ingressantes em cursos de graduação nas áreas das ciências biológicas e correlatas. Desenvolvido a partir da plataforma de criação de jogos *Game Maker*, as recomendações de Baaden e colaboradores (2018) e estrutura organizacional dos conceitos de Lehningher, Nelson e Cox (2014).

De acordo com Chandler (2012), o desenvolvimento de jogos pode ser dividido em quatro principais etapas: a pré-produção, produção, testes e a pós-produção. A pré-produção engloba a concepção do jogo, com a idealização de personagens, cenários, narrativa, entre outros aspectos. A fase de produção é entendida como implementação do jogo em si, já as fases de teste e pós-produção referem-se à testagem com um público semelhante ao público alvo do jogo e após o lançamento, as diversas versões que são atualizadas de acordo com a necessidade.

Quando se trata de jogos educativos, essas etapas podem variar, fundir-se ou até mesmo romper com o padrão metodológico para o design de jogos como já mencionado por Sena e Catapan (2016). Assim, a metodologia utilizada para o desenvolvimento do software gamificado BIOQUEST pode ser descrita em duas etapas:

1) Concepção e GameDesign: etapa na qual foram decididos quais elementos de gamificação e mecânica seriam inseridos no jogo, bem como os conteúdos/habilidades e objetivos do jogo.

2) Codificação e prototipagem: etapa na qual foi feita a codificação na linguagem computacional escolhida, inserção de artes, efeitos visuais e gerados protótipos para testagem. Essa segunda etapa foi realizada por meio de prestação e serviços pelo artista e desenvolvedor de jogos independente Gabriel Lima.

3) Testagem: nesta etapa foi realizada a avaliação da usabilidade e o impacto do uso do software pelos estudantes sobre a aprendizagem de conceitos de biologia molecular.

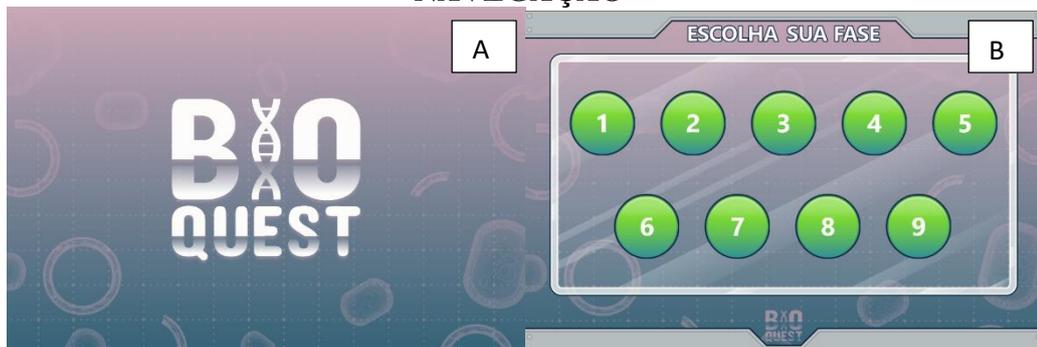
O objetivo do software é fazer com que os estudantes compreendam as estratégias envolvidas na Clonagem Molecular e compreender os processos envolvidos na produção de uma proteína recombinante. No software, escolhemos o modelo da insulina humana, porém, ao

final da exploração, espera-se que o estudante seja capaz de extrapolar tal modelo, aplicando-o a produção de outras proteínas recombinantes.

Ao acessar o BIOQUEST é proposto ao jogador a missão de conhecer e auxiliar no processo de produção da insulina. Será apresentado, na tela, um caminho a ser percorrido marcado por nove estações ou fases. A tela inicial do jogo permite que se navegue livremente pelas fases do software gamificado, sem bloqueio ou necessidade de se atingir uma pontuação mínima para passar de fase. Considera-se e recomenda-se que a navegação pelo BIOQUEST não seja realizada em aula única.

Apesar da navegação ser livre, recomenda-se que a condução e a progressão no software se inicie pela fase 1 e termine na fase 9. Essa ordem conduzirá o usuário às técnicas de Biologia Molecular mais conhecidas e utilizadas para a transformação de uma bactéria, capaz de expressar a proteína humana insulina.

FIGURA 2: BIOQUEST - (A) TELA DE ABERTURA DO SOFTWARE; (B) TELA DE NAVEGAÇÃO



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

Fases do jogo:

-Fase 1: apresenta ao usuário a técnica da Biologia Molecular conhecida como Reação em Cadeia da Polimerase (PCR).

-Fase 2: a amostra de DNA amplificada pela PCR perdeu sua etiqueta e se confundiu com outras armazenadas no mesmo freezer. O usuário poderá interagir com o software reconhecendo sítios de restrição da enzima *EcoRI* nessas amostras de DNA e clivando-os.

-Fase: as amostras são submetidas à técnica de eletroforese em gel de agarose para que por comparação, se determine qual é a amostra contém o fragmento amplificado da insulina.

-Fase 4: o jogador assume o papel da enzima de restrição para poder clivar os plasmídeos.

-Fase 5: serão inseridos fragmentos amplificados da insulina nos plasmídeos clivados na fase anterior.

- Fase 6: transformação de células bacterianas com os plasmídeos recombinantes criados nas etapas anteriores.

-Fase 7: seleciona-se quais bactérias de fato foram transformadas.

-Fase 8: pode-se acompanhar a expressão da proteína insulina na célula bacteriana.

-Fase 9: o jogador pode testar seus conhecimentos em um *quizz*.

As fases do jogo, exemplos de cenas e controles do gameplay encontram-se mais detalhados em Resultados (página 35).

3.1.3. **Intervenção e Tomada de dados**

O convite para a participação voluntária de professores nesta pesquisa foi feito por meio de uma parceria com a Diretoria de Ensino- Região de São Carlos. A divulgação do convite foi feita por meio de contato eletrônico com as 32 Unidades Escolares sob a gestão da DER-São Carlos. Foi enviado um convite contendo as principais informações da pesquisa, juntamente com o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (ver Anexo B) e o Termo de Autorização de uso de imagem e voz (ver anexo C), para as escolas estaduais. A divulgação do convite foi feita pelos professores coordenadores durante a aula de trabalho pedagógico coletivo (ATPC), reunião semanal da carga de trabalho docente, cujo objetivo é formação continuada proporcionada pela escola, Diretoria de Ensino e/ou Secretaria de Educação do Estado de São Paulo. Dos 52 professores com aulas atribuídas de Biologia em toda a rede estadual de ensino da DER- São Carlos, manifestaram interesse em participar da pesquisa 7 professores, sendo 4 da unidade escolar 1, 1 da unidade escolar 2 ,1 da unidade escolar 3 e 1 da unidade escolar 4.

Em seguida, foi realizada uma reunião de formação com os professores interessados, em suas unidades escolares, para que se apropriassem das informações contidas no software e

como utilizá-lo. O requisito para que ocorresse a intervenção em sala era que o professor já tivesse trabalhado os conceitos relacionados à Biologia Molecular em sala de aula. De acordo com o Currículo Oficial do Estado de São Paulo (2012), tal conteúdo encontra-se no terceiro e quarto bimestre da 2ª série do Ensino Médio. Todas as intervenções foram realizadas ao longo do mês de novembro de 2019.

Cada professor utilizou o software BIOQUEST durante duas aulas de 45 minutos, na sala de informática das suas respectivas unidades escolares, intercalando explicações que remetiam às aulas conceituais que tiveram sobre cada assunto em sala de aula e em seguida solicitou que cada estudante preenchesse uma avaliação impressa do software.

FIGURA 3: UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE BIOQUEST NA ESCOLA 1 (A), ESCOLA 2 (B) E ESCOLA 3 (C) DURANTE O MÊS DE NOVEMBRO DE 2019.



Fonte: Imagens da autora

A avaliação do software foi realizada por meio de um questionário pós-teste (ver Tabela 2), que utilizou o diferencial semântico (JAPPUR, 2014), e questões discursivas para levantar informações sobre o design do software, controles, telas, mecânica, usabilidade e questões referentes à interação com os colegas de sala, professor e com a ferramenta BIOQUEST durante a aula.

TABELA 2: Questões utilizadas para avaliar a percepção dos estudantes sobre o uso do jogo.

Afirmções relacionadas à opinião do estudante após a utilização do software BIOQUEST.	Seleção de um valor entre -3 e 3 que melhor represente a opinião do estudante em relação às afirmações.
S1 O <i>design</i> do jogo é atraente (telas ou objetos, movimento dos objetos, etc.).	Feio -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Atraente
S2 O design ajudou a me manter atento ao jogo.	Irritante -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Legal
S3 O conteúdo do jogo é relevante para meu aprendizado.	Irrelevante -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Relevante
S4 Foi fácil entender o jogo.	Difícil -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Fácil

S5	Estou satisfeito porque vou utilizar na minha residência coisas que aprendi com o jogo.	Insatisfeito -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Satisfeito
S6	Eu não percebi o tempo passar enquanto jogava, quando vi, o jogo acabou.	Desinteressante -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Interessante
S7	Pude interagir com outras pessoas durante o jogo.	Desligado -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Interagi
S8	Este jogo é desafiador para mim, as tarefas são difíceis e me fazem pensar	Fracamente -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Desafiador
S9	Me diverti com o jogo.	Chato -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Divertido
S10	Consegui chegar até o final do jogo (resultados).	Fracamente -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Consegui
S11	Como você avalia o seu desempenho obtido no jogo.	Péssimo -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Ótimo
S12	Os controles para realizar ações no jogo responderam bem	Incontrolável -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Controlável
S13	É fácil aprender a usar a interface (telas) e controles do jogo.	Complicado -3 -2 -1 0 +1 +2 + 3 Simples

Fonte: Acervo pessoal da autora.

Para analisar o impacto do jogo sobre a aprendizagem dos estudantes, foi aplicado um questionário contendo dez questões conceituais tanto para estudantes que utilizaram o software BIOQUEST quanto para estudantes que não haviam interagido com o jogo. (Consultar Tabela A-2 em Apêndice A).

3.1.4. Aplicação de um questionário para analisar o impacto do jogo sobre a aprendizagem dos estudantes

Para validar tal material, foram realizadas intervenções em sala de aula, totalizando 131 avaliações feitas por estudantes sobre a interface, interatividade, mecânica e aspectos relevantes do jogo, bem como, o impacto da utilização do software sobre as respostas a um questionário conceitual, respondido por 26 estudantes.

Aplicou-se um questionário contendo dez questões conceituais (ver Tabela A-2 em Apêndice A), tanto para estudantes que utilizaram o software BIOQUEST, quanto para os que não haviam interagido com o jogo.

Os dados coletados de alunos e professores foram analisados de forma quantitativa, utilizando técnicas não paramétricas (DEGROOT, SCHERVISH, 2001; CONOVER, 1999; NOETHER, DUEKER, 1990).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O curso de formação continuada de professores foi realizado no período de 03/08/2017 a 26/08/2017, com nove encontros, totalizando uma carga horária de 30 horas. Durante os encontros, houve troca de vivências, relatos de experiências em sala de aula e interação entre os docentes e os ministrantes do curso – dentre eles a autora deste relatório, alunos de pós-graduação e Pós-Doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular. Foram oferecidas 15 vagas aos professores da rede estadual da região de São Carlos, por meio de uma parceria com a Diretoria de Ensino, ocupadas por 11 professores, 6 mulheres e 5 homens, que ministravam aulas exclusivamente da rede pública, com idades variando entre 30 a 52 anos de idade (idade média dos participantes 42 anos), com experiência docente mínima de 3 anos e máxima de 24 anos (experiência docente média de 10 anos).

Uma vez que o bojo deste trabalho é, numa visão geral, o desenvolvimento de materiais didáticos para a educação básica e considerando que 8 de 11 professores, ou seja, 73% não teve Biologia Molecular na formação inicial ou estudou sobre o assunto há mais de 5 anos.

Uma questão relevante feita aos professores foi onde buscavam informações atualizadas sobre Biologia Molecular. A maioria desses indicou que utiliza como fonte principal de consulta livros, internet, mídias (TV, rádio, revistas, jornais) e cursos de formação continuada.

TABELA 3: Onde professores da educação básica buscam informações atualizadas sobre Biologia Molecular.

Fontes de informação	Percentual de escolha da alternativa
----------------------	--------------------------------------

Livros	100%
Mídias (TV, Rádio, revistas, jornais)	45,5%
Internet, indique um site	63,6%
Congressos, simpósios	9,1%
Pós-graduação	0,0%
Cursos de formação continuada a distância	9,1%
Cursos de formação continuada presenciais	45,5%
Não busco	0%

Fonte: Acervo pessoal da autora.

Apesar de ter sido realizado 10 anos após o trabalho de Camargo e colaboradores (2007) essa pesquisa assemelha-se ao perfil levantado por tais autores, indicando que mesmo diante dos avanços em divulgação científica na área de Biologia Molecular, o acesso a informações atualizadas continua restrito à livros e mídias para os professores da educação básica, diferenciando-se apenas pela utilização crescente da internet como fonte de informação.

Foi questionado aos professores sobre quais conceitos acreditam estar mais associados à Biologia Molecular para inferir a compreensão sobre o assunto. Para Camargo e colaboradores (2007) devido ao uso do termo “Biologia Molecular” ter sido amplamente utilizado desde meados da década de 70, o termo, para leigos, pode ser compreendido como “estudo de moléculas”, e, portanto, os professores poderiam relacioná-lo à química da célula. A partir dos dados apresentados na tabela 5, pode-se observar que apesar de uma parcela dos professores, 4 de 11 (36,4%) relacionar o termo à química da célula, a maioria dos professores, 10 de 11 (90,9%), relacionou o termo às técnicas de manipulação do DNA.

TABELA 4: Compreensão do professor acerca do termo Biologia Molecular

Alternativas relacionadas ao termo	Percentual de escolha da alternativa
Química da célula: átomos, moléculas, energia.	36,4

Algumas estruturas celulares específicas: DNA, RNA, plasmídeos e cromossomos.	90,9
Alguns processos celulares específicos: respiração, transcrição e tradução.	54,5
Algumas técnicas específicas: PCR, eletroforese em gel, análise de restrição, mapeamento e etc.	90,9
Assuntos amplamente divulgados pela mídia (genoma, transgênicos, engenharia genética).	72,7

Fonte: Acervo pessoal da autora.

Imperativo para este trabalho foi a investigação junto aos docentes sobre os conceitos relacionados a Biologia Molecular que haviam sido trabalhados com os alunos e, dentre aqueles, quais os professores sentiram maior dificuldade ao ensinar. Corroborando com o trabalho de Camargo e colaboradores (2007) os conceitos relacionados diretamente à Biologia Molecular “Algumas técnicas específicas: PCR, eletroforese em gel, análise de restrição, mapeamento e etc.” fora citado apenas uma vez pelos professores (9,1%), o que leva a reflexão de como tal assunto está sendo explorado junto aos alunos da educação básica.

Dentre as dificuldades de se ensinar os conceitos mencionados na tabela 5, os professores relataram que a maior dificuldade se encontra nos processos celulares específicos como respiração, transcrição e tradução.

TABELA 5: Conceitos cujo professor acredita ter maior dificuldade ao ensinar.

Dificuldades ao se ensinar os conceitos	Percentual de escolha da alternativa
Química da célula: átomos, moléculas, energia.	18,2
Algumas estruturas celulares específicas: DNA, RNA, plasmídeos e cromossomos.	18,2
Alguns processos celulares específicos: respiração, transcrição e tradução.	54,5
Algumas técnicas específicas: PCR, eletroforese em gel, análise de restrição, mapeamento e etc.	9,1
Assuntos amplamente divulgados pela mídia (genoma, transgênicos, engenharia genética).	18,2

Fonte: Acervo pessoal da autora.

Para entender melhor as dificuldades dos professores em relação ao ensino de determinados conceitos relacionados à Biologia Molecular, foi solicitado que indicassem, de acordo com a escala “(1) Nunca ouvi nada a respeito, (2) Já ouvi falar, mas não sei exatamente o que significa, (3) Já ouvi falar e considero que sei o significado”, o quanto consideravam que sabiam sobre tais conceitos.

TABELA 6: Desconhecimento de conceitos relacionados à Biologia Molecular por parte dos professores da Educação Básica

Conceitos	Percentual de desconhecimento de conceitos
Operon	90,9
Splicing	72,7
Intron/Exon	63,6
PCR	54,5
Hibridização	45,5
Desnaturação	18,2
Projeto Genoma Humano	9,1
Pontes de Hidrogênio	9,1
Transgênico	9,1
Procarioto/Eucarioto	0,0
Cariótipo	0

Fonte: Acervo pessoal da autora.

A dificuldade dos professores em ensinar processos celulares específicos fica mais evidente ao analisar os conceitos que possuem menos conhecimento, tais como os relacionados ao controle da regulação gênica, “Operon” e à transcrição - “Splicing” e “Intron/Exon”, e conceitos relacionados à técnica de PCR, hibridização e desnaturação.

Resultados semelhantes também foram obtidos por Sikumbang e colaboradores (2019) ao investigar como licenciandos em Biologia entendem o dogma central da Biologia Molecular. Tais resultados, de certa forma, trazem à tona a questão de como a Biologia Molecular está inserida nos currículos de cursos de formação inicial e continuada destinados a docentes da educação básica. O objetivo do curso oferecido no escopo deste trabalho foi levantar as fragilidades e lacunas para, em um primeiro momento oferecer-lhes formação continuada e, também desenvolver materiais didáticos para apoiar sua prática pedagógica.

A avaliação do curso por parte dos docentes foi positiva no sentido de que o curso cumpriu o programa proposto, instalações e recursos utilizados foram adequados, bem como material didático e habilidades dos palestrantes.

TABELA 7: Avaliação do curso de formação continuada oferecido feita pelos professores cursistas.

Avaliação do curso	Percentual de satisfação do professor¹
O programa estabelecido foi desenvolvido?	100,00
As instalações e recursos foram adequados?	100,00
O material didático foi satisfatório?	100,00
Os orientadores apresentaram habilidades na utilização de métodos e técnicas de ensino?	100,00
Você diria que sua integração com os demais participantes foi boa?	100,00
O curso atingiu o seu objetivo?	88,89
Você diria que o seu aproveitamento neste curso foi bom?	88,89
A carga-horária foi bem distribuída?	77,78
A abordagem prática foi suficiente?	66,67
Você acha que poderá aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso em sua prática profissional?	22,22

Fonte: Acervo pessoal da autora.

O aspecto que teve pior avaliação entre os docentes foi com relação à aplicação dos conhecimentos adquiridos no curso à sua prática profissional, apenas 2 de 9 professores, avaliaram que conseguiriam fazer a aplicação. A justificativa mais recorrente entre os professores para tal avaliação refere-se a falta de materiais didáticos, disponíveis, e em relação ao tempo destinado às aulas de Biologia.

Ao longo das palestras realizadas pelos Pós-doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular (PPGGev) da UFSCar foram discutidos conteúdos específicos de biologia molecular que, segundo os cursistas, não foram aprendidos durante sua graduação, tanto por se tratar de um assunto muito recente ou até mesmo por uma lacuna existente em tais cursos de formação inicial de professores.

Além disso, observou-se que os professores puderam discutir/ socializar dúvidas inerentes às práticas e atividades sugeridas para serem aplicadas em sala de aula, discutindo

¹ Foi atribuído o valor 1 às respostas “SIM” e 0 às respostas “PARCIAL” e “NÃO” (ver questionário em tabela 2) para se ter um valor numérico que reflete a satisfação do professor em relação ao aspecto avaliado no curso. A avaliação era opcional, e foi realizada por 9 dos 11 professores cursistas.

suas experiências anteriores, as limitações encontradas no cotidiano escolar e motivações para desenvolver novas práticas em sala de aula. Por isso, pode-se considerar esta análise otimista no sentido de que o curso pôde contribuir com a formação continuada de professores em Biologia Molecular. Muitos fatores contribuíram para o bom andamento do curso: o fato da maioria das/os participantes estar presente em todos os encontros enriqueceu progressivamente as discussões; a motivação pessoal e intrínseca de cada um(a) deles(as) foi essencial, pois eles(as) mesmo contribuíram para a elaboração conjunta de diversas ações e discussões ocorridas; a maior proximidade facilitada principalmente pelo número reduzido de educadores participantes, visto que assim foi possível realizar aulas práticas em que a maioria pudesse manipular os equipamentos e durante as aulas nas quais o conjunto todo podia participar ouvindo e se manifestando, caracterizando maior coesão no encadeamento de experiências, ideias, conversas e planos de ação entre o grupo; por último, mas não menos importante fator exposto aqui, a grande disponibilidade, prontidão e competência da funcionária Silvana Belotti – Professora Coordenadora de Núcleo Pedagógico (PCNP) que em todos os momentos nos deu assistência tanto a nível de apoio material e de sustentação quanto a nível de comunicação e informação.

Como instrumentos de avaliação de desempenho dos professores, foram solicitados quatro relatórios relativos às aulas práticas realizadas e nove atividades de caráter pedagógico, com o objetivo oferecer um momento de reflexão sobre os assuntos tratados em cada aula. Nessas atividades, os professores discutiram como cada tema tratado poderia ser aplicado em sala de aula, quais seriam as potencialidades de ensiná-lo, em que momento do Currículo se encaixa e para qual série, e quais as limitações para tal. Essa reflexão, bem como a leitura do material suplementar enviado aos cursistas, foi prevista para ser realizada como forma de cumprimento das horas não-presenciais do curso.

Como já mencionado, tais resultados, guiaram a construção de um software gamificado que abrangeu ao longo de suas nove fases/ estações, os conceitos relacionados à biologia molecular, voltados para alunos do ensino médio.

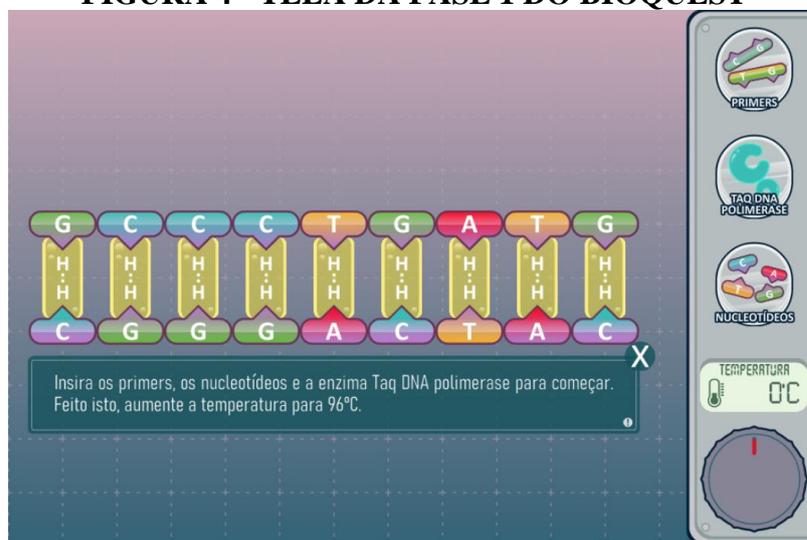
4.1. SOFTWARE BIOQUEST

4.1.1. FASES DO JOGO

FASE 1: AMPLIFICANDO O FRAGMENTO DE DNA: PCR

O objetivo desta fase é que o jogador compreenda a técnica de PCR ao controlar, por meio de botões na interface, a temperatura do tubo contendo os *primers*, deoxinucleotídeos, enzimas e o fragmento de interesse a ser amplificado. A temperatura será controlada pelo jogador de modo que ele possa observar a separação das fitas de DNA à medida que as ligações de hidrogênio são desfeitas com o aumento da temperatura. O jogador deve, após verificar a separação das fitas, diminuir levemente a temperatura até que os primers se anelem às fitas e a enzima *Taq*-DNA polimerase se ligue aos primers iniciando o processo de polimerização do DNA. Após a enzima ter adicionado de 2 a 3 nucleotídeos automaticamente, o processo é interrompido e o jogador deve continuar a adicionar manualmente os deoxinucleotídeos, respeitando a complementaridade das fitas. Cada etapa do processo é intermediada por textos em boxes que orientam os estudantes com as informações importantes sobre os processos que estão ocorrendo no jogo.

FIGURA 4 - TELA DA FASE 1 DO BIOQUEST



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

A seguir, um exemplo da tela que exige maior atenção do usuário, pois o pareamento “errado” dos nucleotídeos representados pelas letras A, T C e G altera a pontuação final da fase.

FIGURA 5: ETAPA DA FASE 1 QUE REQUER ATENÇÃO DO ESTUDANTE



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

Uma observação importante em relação as ligações de hidrogênio, é que essas ocorrem entre as bases nitrogenadas complementares das fitas de DNA e foram intencionalmente representadas por um único retângulo amarelo nesse jogo, portanto, cabe ao professor ressaltar que as ligações de hidrogênio que se estabelecem entre os nucleotídeos podem variar entre dupla (entre Adenina e Timina) e tripla (Citosina e Guanina). Além disso, o professor pode propor a montagem de modelos tridimensionais, com materiais de baixo custo, para que o aluno possa visualizar o modelo tridimensional da molécula de DNA.

FASE 2: DIGERINDO O FRAGMENTO DE DNA: ENZIMAS DE RESTRIÇÃO

Nessa fase um problema é apresentado ao estudante: houve interrupção na energia elétrica que abastece o laboratório, que causou o descongelamento do freezer no qual várias amostras estavam armazenadas, inclusive a amostra que havia sido amplificada na etapa

anterior. O descongelamento só durou tempo suficiente para manchar a marcação feita no rótulo dos tubos, atrapalhando sua identificação. É proposto então, que o usuário utilize as técnicas de Biologia Molecular para identificar as amostras.

É apresentado ao estudante uma animação, que mostra a representação da ação da enzima *Eco* RI, uma enzima de restrição que quebra as ligações fosfodiésteres entre os nucleotídeos Guanina e Adenina do sítio de restrição dessa enzima.

São apresentados ao estudante três tubos com rótulos danificados, e nestes, moléculas de DNA dupla fita. É necessário que o jogador insira a enzima de restrição para cada sítio de restrição presente nas moléculas apresentadas na tela.

FIGURA 6: TELA DA FASE 2 BIOQUEST



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

O estudante deve clicar com o botão esquerdo do mouse sobre a Enzima *Eco* RI e arrastar e soltar o botão sobre as fitas de DNA. Observar que o sítio de restrição da enzima encontra-se no canto inferior direito da tela. Assim, os estudantes devem inserir e movimentar

as enzimas, posicionando-as exatamente sobre cada sítio de restrição, como mostra a imagem a seguir.

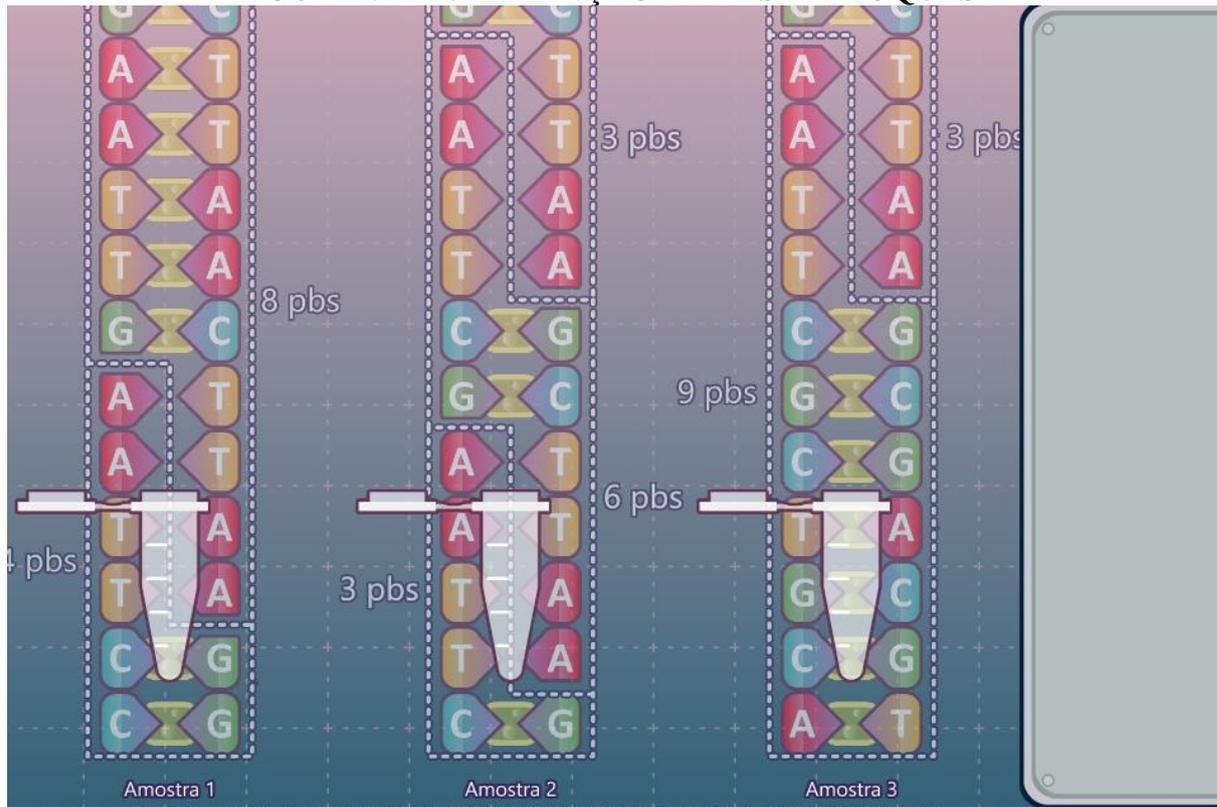
**FIGURA 7: POSICIONAMENTO DAS ENZIMAS DE RESTRIÇÃO - FASE 2
BIOQUEST**



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

Em seguida, é necessário que o estudante clique sobre a tesoura (botão cortar) com o botão esquerdo do mouse, arraste sobre as enzimas e solte o botão. Ao fazer isso, são mostrados os fragmentos gerados nesta etapa, finalizando essa fase.

FIGURA 8: FINALIZAÇÃO DA FASE 2 BIOQUEST

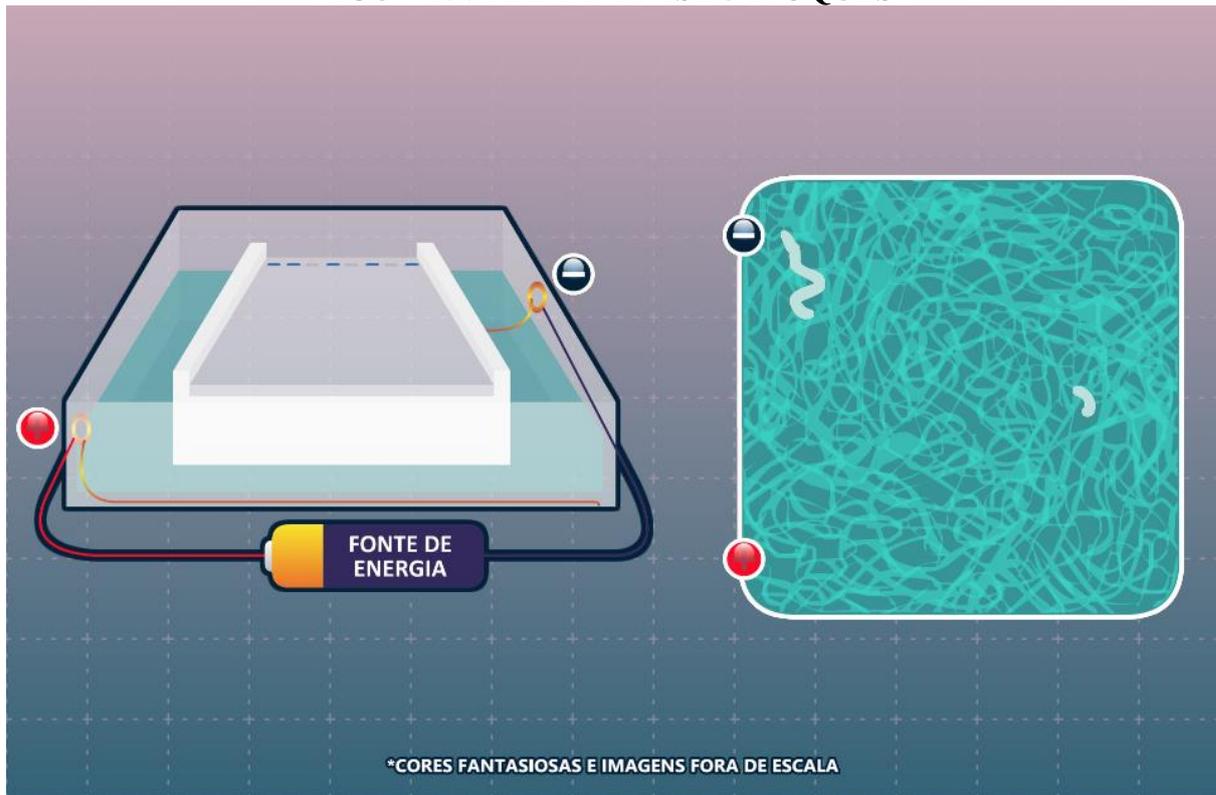


Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

FASE 3: COMPARANDO OS FRAGMENTOS DE DNA APÓS DIGESTÃO COM AS ENZIMAS DE RESTRIÇÃO: ANÁLISE DOS FRAGMENTOS POR ELETROFORESE EM GEL DE AGAROSE

Nesta fase, é proposto que, a partir dos fragmentos gerados pela ação da enzima de restrição, o estudante possa determinar qual das amostras contém o fragmento que codifica a insulina amplificado, utilizando a eletroforese em gel de agarose.

FIGURA 9: TELA DA FASE 3 BIOQUEST



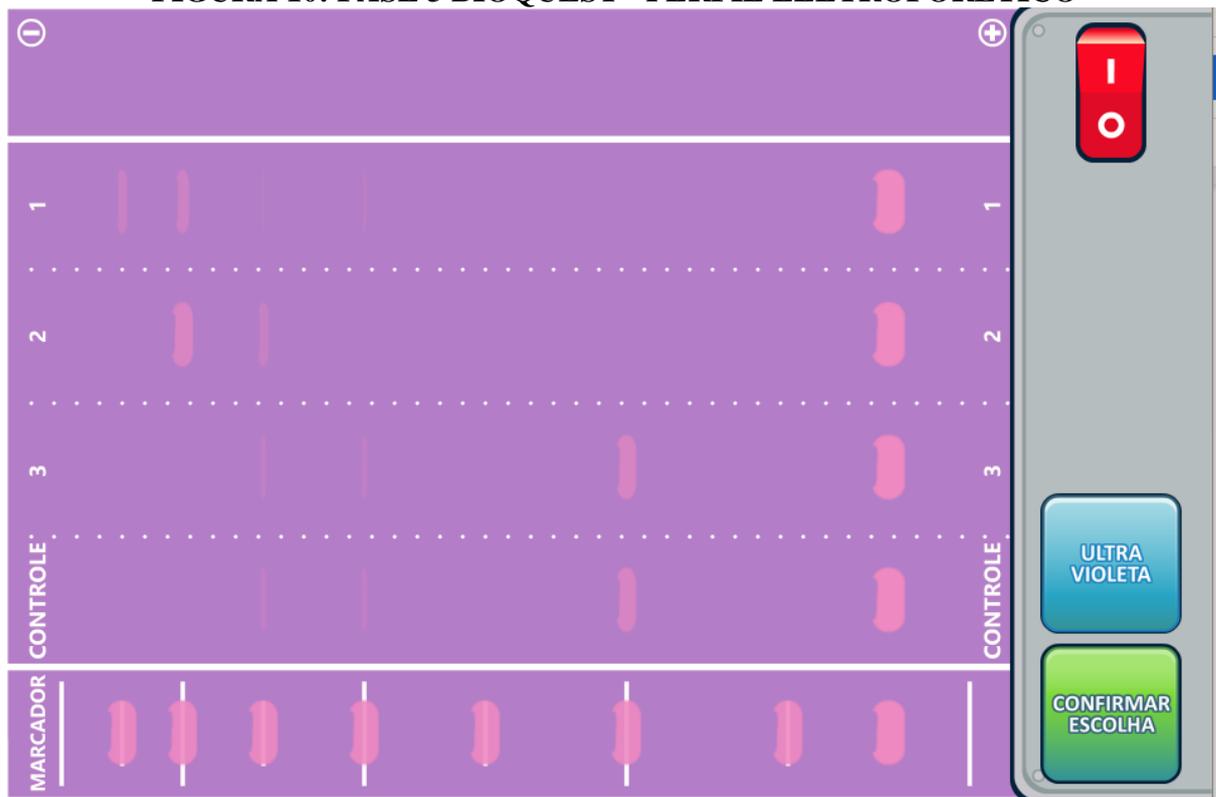
Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

A figura mostra a animação utilizada para ilustrar a migração dos fragmentos de DNA do polo negativo para o polo positivo durante a eletroforese em gel de agarose.

É necessário que o professor oriente os estudantes, chamando atenção para o fato de que a amostra controle é o gene da insulina, e é com base em seu perfil de restrição, ou seja padrão de distribuição de bandas de DNA - que o estudante determinará, por comparação, qual das três amostras que tiveram seus rótulos danificados, contém o gene da insulina amplificado. Também é preciso explicar que o marcador é constituído de fragmentos de DNA de tamanho conhecido, adquiridos comercialmente e que mostram o tamanho, em pares de bases de DNA, dos fragmentos alinhados em sua direção, o que permite ao cientista determinar o tamanho de fragmentos quando essa técnica é utilizada em amostras desconhecidas.

O professor deve orientar que os estudantes cliquem sobre o botão vermelho e acompanhem o rastro azul, desligando o botão quando as amostras se aproximarem do polo positivo- clicando novamente no botão vermelho, como mostra a figura a seguir.

FIGURA 10: FASE 3 BIOQUEST - PERFIL ELETROFORÉTICO



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

Para responder a pergunta proposta “Qual das amostras (1, 2 e 3) contém o fragmento da insulina?” é necessário visualizar os fragmentos de DNA espalhados pelo gel, para isso é necessário clicar sobre o botão ultravioleta.

De acordo com a imagem acima, nota-se que a amostra idêntica ao controle é a amostra 3. O estudante, neste caso, deve clicar com o botão esquerdo do mouse sobre a amostra 3, selecionando-a e em seguida deve clicar sobre o botão “Confirmar escolha”.

FASE 4: CLONAGEM MOLECULAR: DIGESTÃO DOS PLASMÍDEOS COM ENZIMAS DE RESTRIÇÃO

Agora que o estudante recuperou a amostra amplificada do gene de insulina, deve continuar os processos que permitirão produzir essa proteína abundância. Nesta fase, inicia-se a clonagem molecular do gene da insulina. O objetivo do jogador é clivar o maior número de plasmídeos possível durante 115 segundo. O plasmídeo é um DNA circular que se replica

separadamente do DNA cromossômico e que ocorre naturalmente em bactérias conferindo resistência a determinadas toxinas e antibióticos naturais (LEHNINGER; NELSON; COX, 2014).

O estudante deve utilizar as teclas para movimentar a enzima e fazê-la chocar-se contra um plasmídeo. Ela então automaticamente deslizará sobre o plasmídeo e o clivará nos sítios destacados.

FIGURA 11: FASE 4 BIOQUEST – DIGESTÃO DE PLASMÍDEOS



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

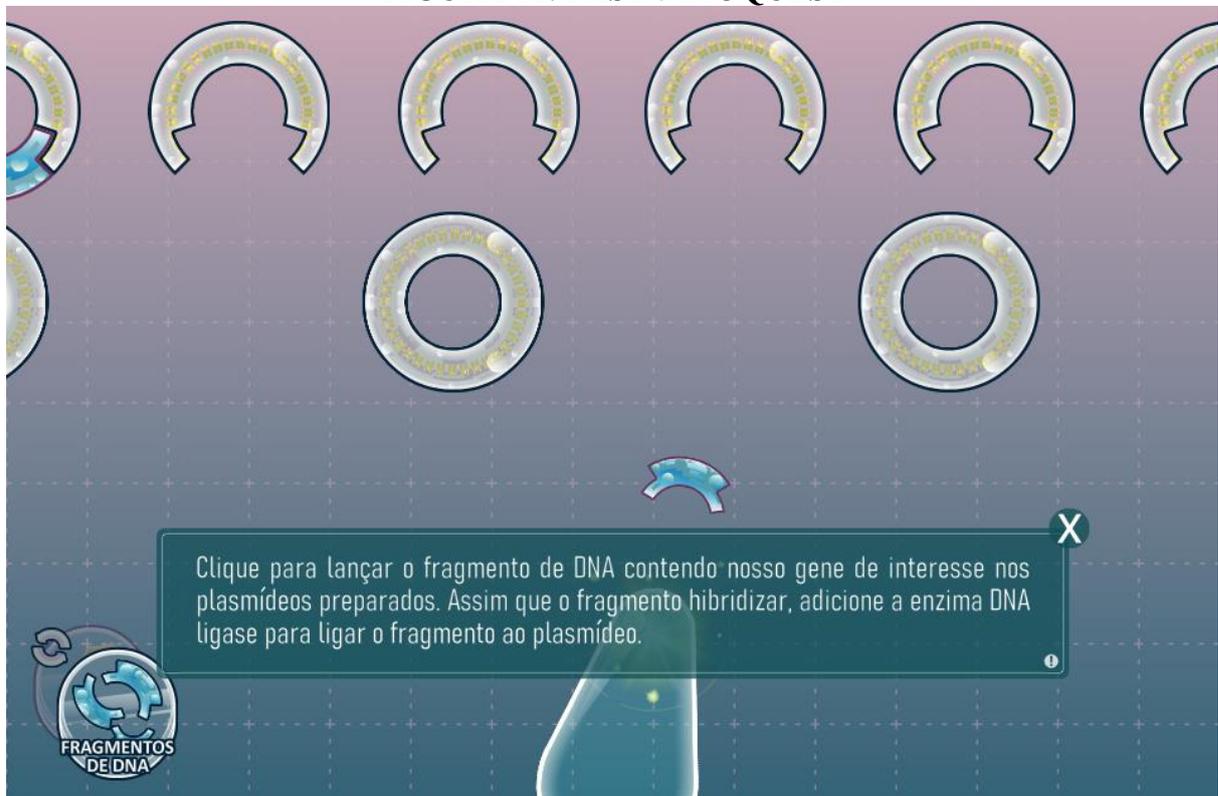
A bolinha de cor laranja mostrada na imagem acima representa um cofator da enzima de restrição. Algumas enzimas não necessitam de outros grupos químicos para exercer sua atividade catalítica, além dos seus próprios resíduos de aminoácidos; já outras necessitam de um componente químico adicional, o cofator - que pode ser um ou mais íons inorgânicos como Fe^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} ou Zn^{2+} entre outros, ou uma molécula orgânica ou metalorgânica denominada coenzima (LEHNINGER; NELSON; COX, 2014).

Quando coletado no jogo, o cofator acelera o movimento da enzima e pode tornar seu controle de movimento mais difícil. É necessário explicar aos estudantes que durante uma reação química como essa, de digestão de moléculas, fatores como a temperatura ideal para atividade enzimática e tempo de reação são determinantes para o sucesso do experimento.

FASE 5: CLONAGEM MOLECULAR: MONTAGEM DO PLASMÍDEO RECOMBINANTE

Nesta fase, o estudante deverá “lançar” os fragmentos de DNA em direção aos plasmídeos abertos. Para isso deve clicar sobre o botão “fragmentos de DNA” no canto inferior esquerdo da tela e, em seguida, posicionar o cursor do mouse na direção dos fragmentos abertos que deseja inserir o fragmento. Feito isso, deverá clicar com o botão esquerdo do mouse, disparando os fragmentos.

FIGURA 12: FASE 5 BIOQUEST



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

Os fragmentos irão se hibridizar as extremidades livres dos plasmídeos “abertos”. Logo em seguida, deverá clicar em “enzima DNA LIGASE” mudando o “tiro” para a

DNA ligase, deve então mirar a ligase na direção do fragmento hibridizado no plasmídeo e clicar com o botão esquerdo do mouse atirando a DNA ligase. Ela efetivamente ligará o fragmento de interesse ao plasmídeo. Caso o estudante não “atire” a enzima ligase, o fragmento se solta.

FIGURA 13: FASE 5 BIOQUEST



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

Os plasmídeos íntegros (ou seja, sem espaço para inserção de fragmentos) demonstram para o usuário que nem todos os plasmídeos foram clivados na etapa anterior.

FASE 6 - CLONAGEM MOLECULAR: TRANSFORMAÇÃO BACTERIANA

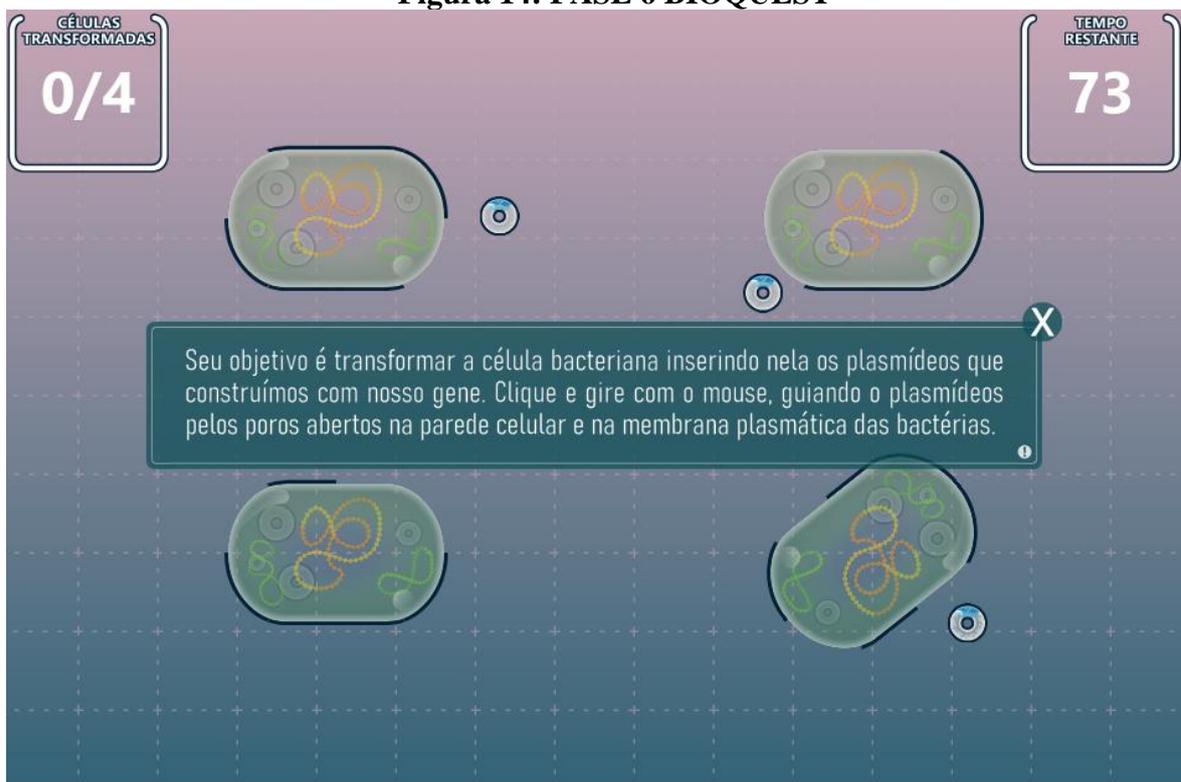
Ao iniciar essa fase, é importante que o estudante saiba que ao inserir um fragmento em um plasmídeo, insere-se também outros trechos de DNA, que permitem a sua manipulação, como os sítios de restrição, e outros trechos que permitam a identificação da bactéria que o incorporou, podem ser genes que fornecem resistência à determinados antibióticos conhecidos e/ou genes chamados repórteres que expressam proteínas que, ao entrarem em ação degradando

substratos específicos, forneçam à colônia bacteriana uma coloração específica, como por exemplo a beta-galactosidase.

O processo de transformação da célula bacteriana consiste em fragilizar a parede celular e a membrana plasmática a fim de criar brechas para que os plasmídeos possam ser inseridos. Nesta fase, os plasmídeos, que são carregados negativamente devido às cargas de seus grupamentos fosfato, são atraídos em direção a superfície da célula bacteriana, que foi tratada com cloreto de cálcio, e portanto, apresenta-se positivamente carregada. O estudante deve clicar com o botão esquerdo do mouse e rotacionar a célula bacteriana, de modo que o plasmídeo possa entrar pelo poro momentaneamente criado.

Devido ao tratamento químico e ao choque de temperatura, os poros na membrana se abrem e logo se fecham ao longo do jogo. Além disso também é possível notar que algumas bactérias podem receber mais do que um plasmídeo. O professor deve ressaltar que a transformação pode não atingir todas as células, sendo necessário após essa etapa, a seleção das bactérias que de fato foram transformadas pelo plasmídeo recombinante.

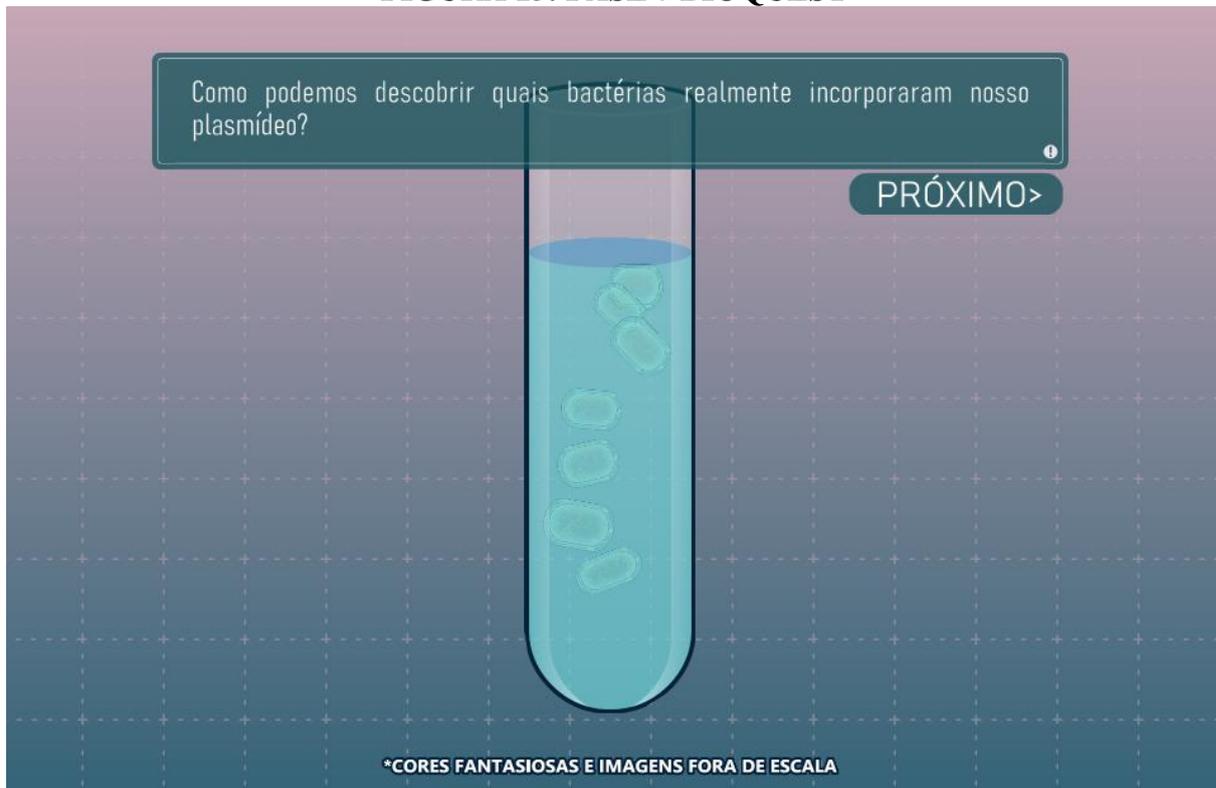
Figura 14: FASE 6 BIOQUEST



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

FASE 7 - CLONAGEM MOLECULAR: SELEÇÃO BACTERIANA

FIGURA 15: FASE 7 BIOQUEST

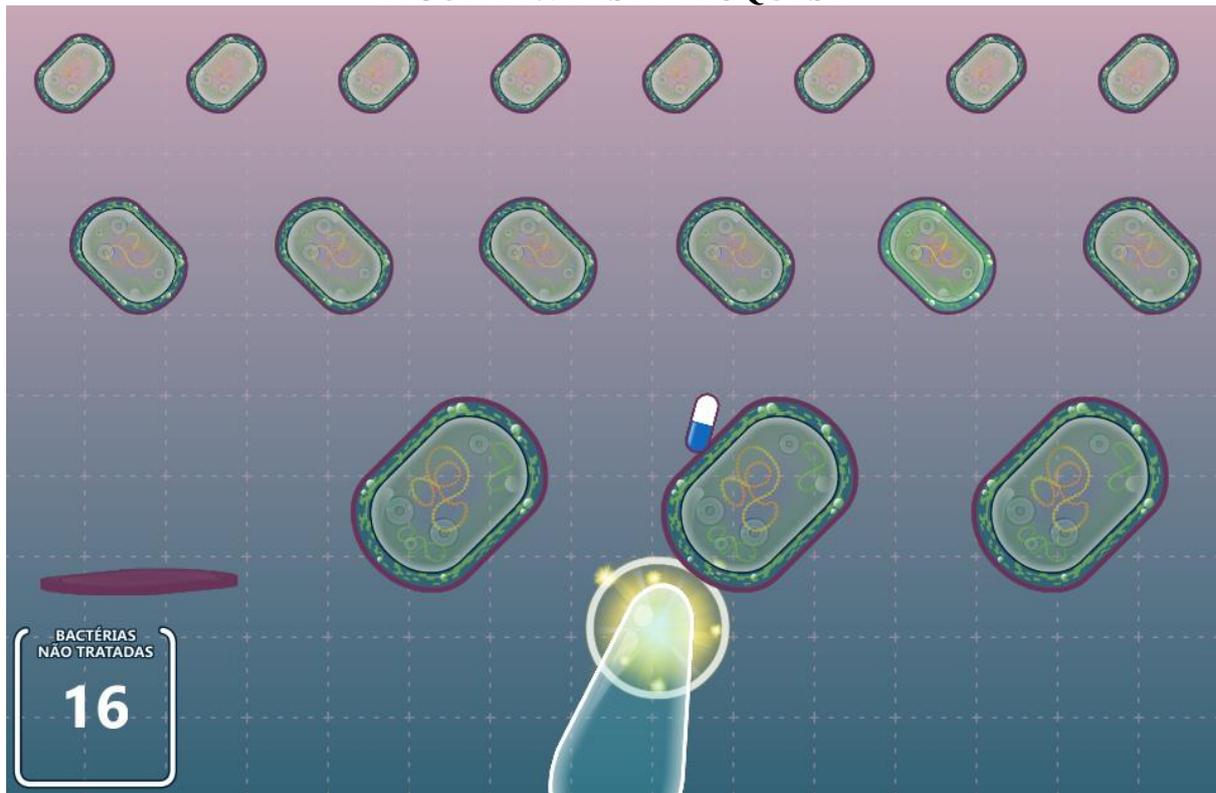


Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

Como mostra a figura acima, essa fase se inicia propondo uma reflexão direcionada ao estudante: “como podemos descobrir quais bactérias realmente incorporaram nosso plasmídeo?”.

Uma vez que o plasmídeo tenha sido inserido com sucesso na célula bacteriana, é necessário selecionar quais incorporaram a construção desejada, lembrando que esse processo não pode ser visto através do microscópio ou a olho nu.

Para isso, aplicam-se os antibióticos para os quais genes de resistência foram inseridos juntamente com o gene de interesse -insulina- no plasmídeo recombinante. Neste caso, a introdução da fase informa o estudante que foi inserido juntamente com a insulina um gene que confere resistência ao antibiótico canamicina.

FIGURA 16: FASE 7 BIOQUEST

Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

Assim, esta fase baseia-se no *gameplay* do tiro ao alvo. O estudante deve mirar o cursor do mouse na direção das bactérias em movimento e “atirar” antibiótico nas bactérias em movimento, clicando com o botão esquerdo do mouse. Se o projétil (antibiótico) atinge o alvo (célula bacteriana) e mesmo assim não o derruba, estabelece-se uma analogia à célula resistente ao antibiótico e, portanto, contém o gene de interesse. Uma observação importante é que a fase não termina enquanto o estudante não acertar todas as bactérias presentes na tela!

FASE 8 - EXPRESSÃO DA PROTEÍNA RECOMBINANTE EM CÉLULAS BACTERIANAS

Essa fase se inicia com uma animação que mostra representações de como ocorre a síntese da proteína insulina no interior da célula bacteriana.

São apresentadas animações que, de forma resumida, ilustram o processo de como a informação genética contida no DNA é expressa, isto é, como a informação presente em um segmento de DNA se transforma em um produto biológico funcional, seja ele proteína ou RNA. O trecho traduzido nessa animação é parte da sequência de aminoácidos da insulina humana.

Após contextualizar o processo da síntese de proteínas, o estudante pode controlar as condições de temperatura, a disponibilidade de nutrientes, e a agitação, com o objetivo de maximizar o crescimento da população de bactérias e consequentemente, otimizar a expressão da insulina.

FIGURA 17: FASE 8 BIOQUEST

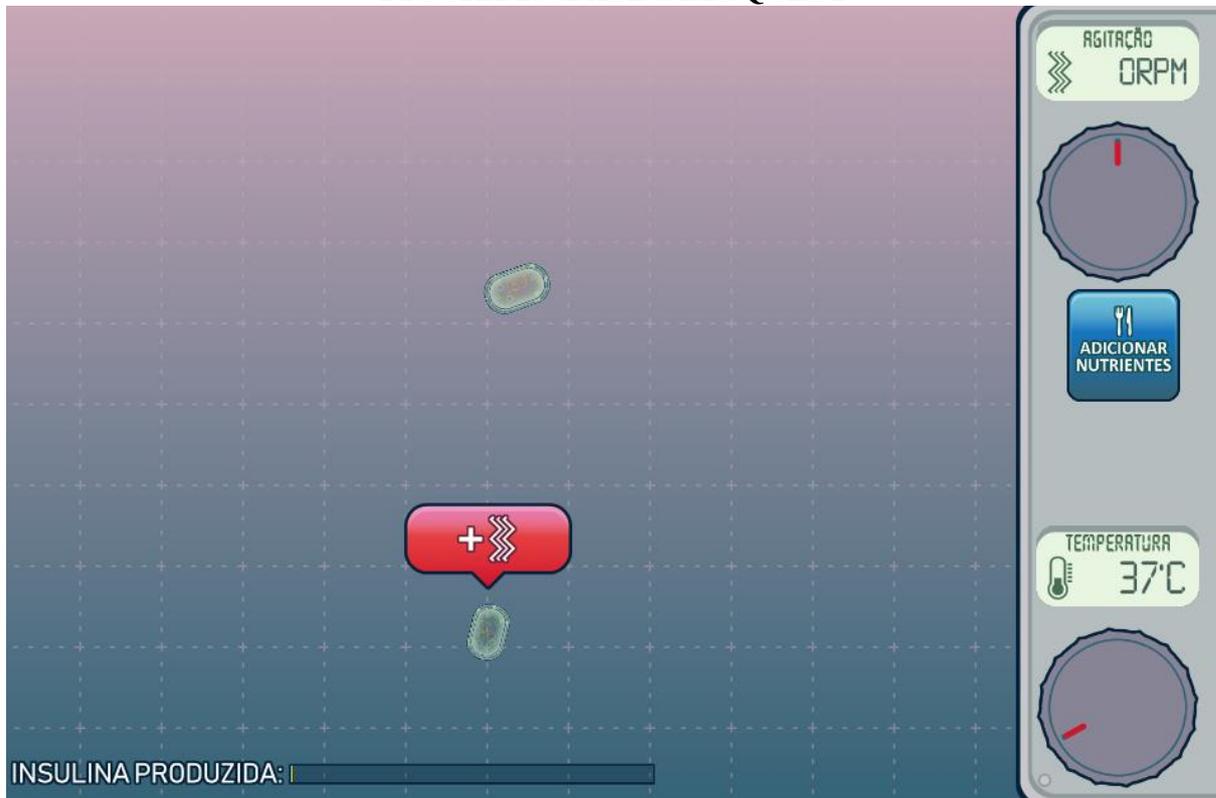


Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

A quantidade de proteínas expressa intracelularmente é proporcional à população de bactérias, a medida que a população esteja exposta a boas condições de crescimento (temperatura, agitação e nutrientes) elas se multiplicam.

Inicialmente aparecerá na tela a necessidade requerida da população, como mostra a figura abaixo.

FIGURA 18: FASE 8 BIOQUEST



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

A figura indica que para poder se multiplicar a população de bactérias necessita de agitação, assim, o estudante deve girar o botão no canto superior direito da tela, segurando botão esquerdo do mouse pressionado e movimentando o botão em sentido horário, até que a agitação de 250 RPM seja alcançada, soltando então o botão do mouse.

FIGURA 19: FASE 8 BIOQUEST

Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

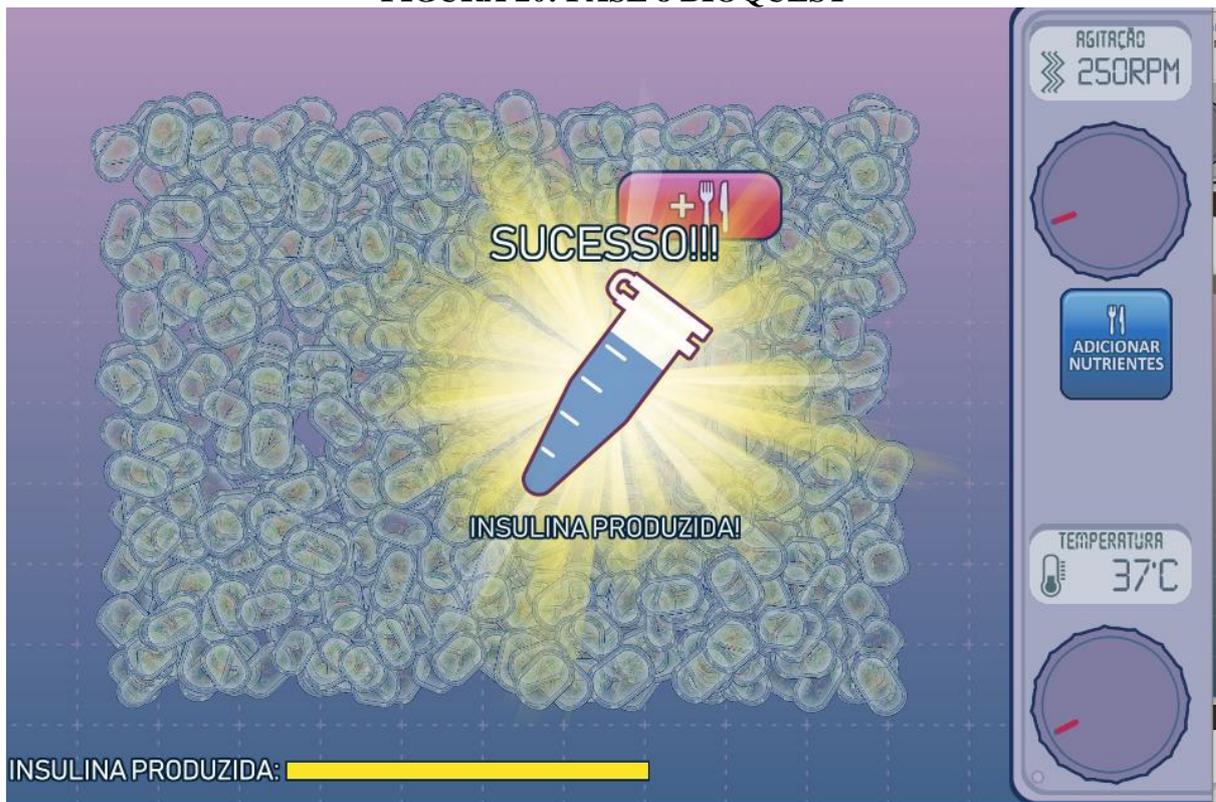
A figura acima mostra a necessidade de se ajustar a temperatura para 37°C. Para isso, o estudante deve girar o botão no canto inferior direito da tela, segurando botão esquerdo do mouse pressionado e movimentando o cursor em sentido horário, até que a temperatura de 37°C seja alcançada, soltando então o botão do mouse.

FIGURA 20: FASE 8 BIOQUEST

Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

A figura acima mostra a necessidade de se fornecer nutrientes. Para isso, o estudante deve pressionar o botão “adicionar nutrientes” localizado na parte direita da tela, clicando sobre ele com o botão esquerdo do mouse.

FIGURA 20: FASE 8 BIOQUEST



Fonte: Imagem da autora extraída do software gamificado BIOQUEST

Em seguida, o estudante pode acompanhar o crescimento exponencial das células bacterianas, além da quantidade de insulina expressa pelas bactérias por meio da barra de insulina produzida na parte inferior da tela, mostrada em amarelo. Quando atingir uma determinada quantia de insulina, o jogo se encerra.

DESAFIO FINAL

Nessa fase, o estudante tem acesso a um *Quiz* com perguntas objetivas sobre todas as fases exploradas.

O professor deve orientar que os alunos rolem as barras amarelas, clicando com o botão esquerdo do mouse sobre as setas (para cima e para baixo) para poderem acessar todas as alternativas das questões.

Ao final do *Quiz*, é apresentado ao estudante seu aproveitamento, ou seja, o percentual de respostas corretas que pode ser explorado pelo professor, estabelecendo uma

competição entre alunos de uma mesma turma ou turmas diferentes. Espera-se que a gamificação não fique restrita ao uso do software BIOQUEST, assim, a montagem de um ranking com o número de acerto dos estudantes, pode ajudar a dar continuidade às atividades que serão feitas sem o auxílio do jogo. As questões apresentadas no quizz e seu respectivo gabarito encontram-se no ANEXO A.

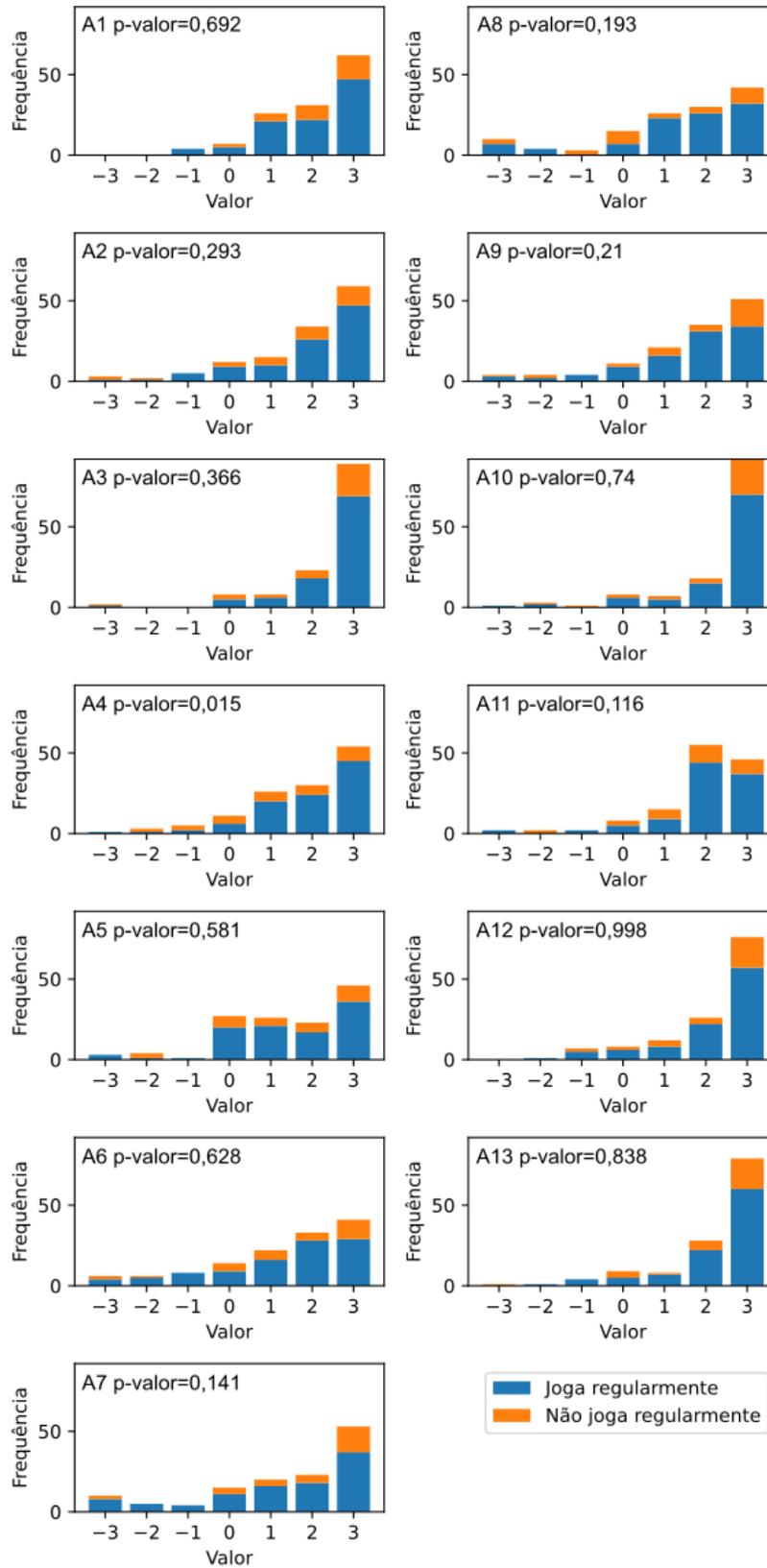
4.2. TESTAGEM E AVALIAÇÃO DO USO DO SOFTWARE BIOQUEST

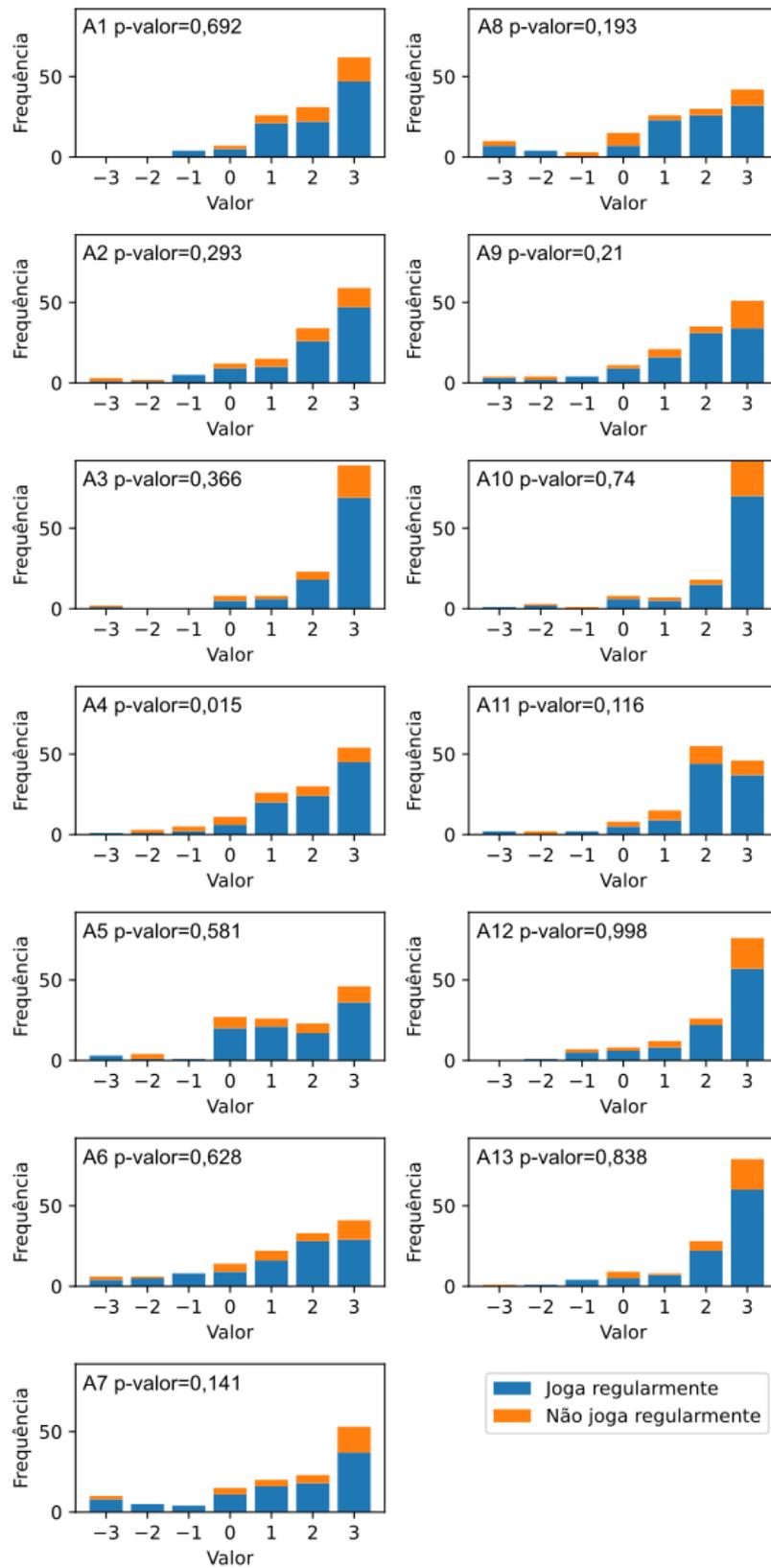
Para se avaliar a utilização do objeto produzido, fora feita uma testagem inicial à 24 graduandos do curso de Graduação – Bacharelado em Biotecnologia, oferecido pela Universidade Federal de São Carlos. Tal testagem permitiu a calibragem de aspectos de algumas fases como cronômetros, *feedback* e ajustes dos textos apresentados ao usuário final.

Após a implementação de tais ajustes, foram realizadas nove intervenções junto à estudantes da 2ª série do Ensino médio, em três escolas estaduais, totalizando 131 sujeitos avaliados, com idade entre 16 a 18 anos.

Destes, 32 estudantes (24,4%) relataram que não possuem experiência/ consomem jogos, e 99 (75,6%) relataram que possuem experiência / consomem jogos. A quantidade média de consumo semanal foi de 5 vezes por semana, gastando para isso uma média de 3 horas e 20 minutos por dia. A partir das respostas dos estudantes obteve-se os gráficos mostrados na Figura 21, que mostram a frequência de valores atribuídos a cada afirmação avaliada pelo diferencial semântico.

FIGURA 21: FREQUÊNCIA DE VALOR ATRIBUÍDO A CADA AFIRMAÇÃO AVALIADA NA TABELA 2.





Fonte: Acervo pessoal da autora.

Como pode-se notar esses dados não possuem uma distribuição normal, assim, aplicou-se o teste não paramétrico correspondente ao Teste T independente, que é o Teste U de Mann-Whitney utilizando o Software IBM SPSS.

O teste de U de Mann-Whitney mostrou que o fato do estudante ter hábito de jogar/consumir jogos tem efeito sobre a avaliação da afirmação “S04: Foi fácil entender o jogo” ($U=1149,5$; $p < 0,05$), porém não tem efeito sobre as demais afirmações, pois estas apresentaram p valor $> 0,05$, como apresentado na figura 3. O hábito de jogar deve ser considerado como um ponto de atenção em pesquisas que envolvam a utilização de serious games para o ensino, uma vez que, tem um impacto significativo sobre aquilo que o jogador é capaz de desenvolver no jogo (GAUTHIER; JENKINSON, 2017).

Tal resultado aponta para a necessidade da presença e explicação do professor acerca da forma de utilização do jogo pelo estudante. Para Meier e Garcia (2007) para que a aprendizagem se desenvolva é necessária a presença de um mediador efetivo para facilitar essa interação entre o sujeito e os estímulos, neste contexto entendidos como o estudante e o software.

As afirmações que receberam a melhor avaliação referem-se ao estudante conseguir explorar o jogo em sua totalidade, a relevância do assunto para a aprendizagem, facilidade de manipulação e navegação no jogo, que obtiveram respectivamente, 70% e 60%.

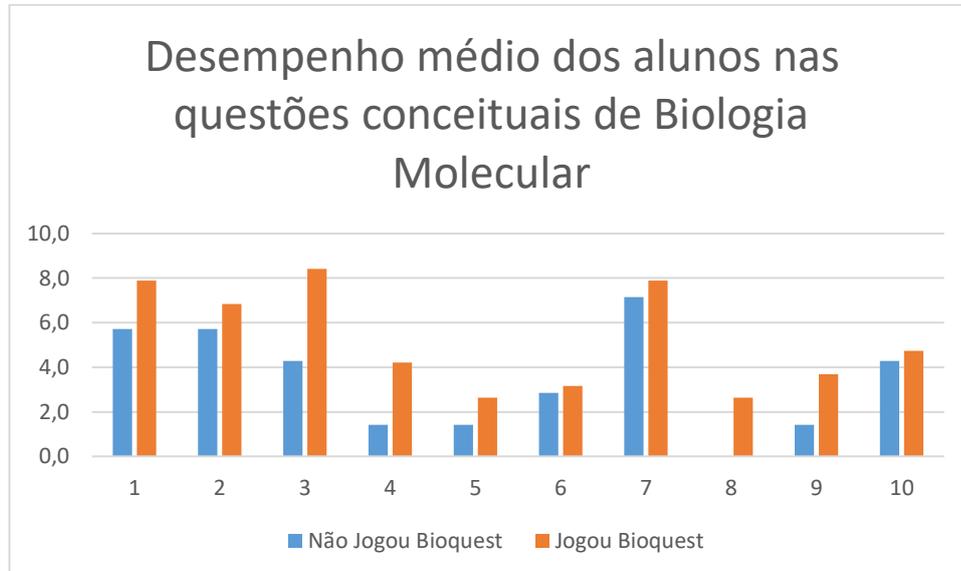
As piores avaliações foram dadas por 7% dos estudantes que atribuíram a pior nota aos aspectos interação e caráter desafiador do jogo, e 6% à percepção da passagem do tempo. Apesar de ter sido desenvolvido para ser utilizado por um jogador por computador, a situação real de aplicação em sala, com número reduzido de computadores disponíveis na sala de informática da escola, fez com que o software fosse explorado por trios de estudantes.

A relação com a percepção do passar do tempo durante a utilização do jogo pode ser relacionada com a motivação para sua utilização. Tais dados foram tomados em uma situação de intervenção de sala de aula, na qual o professor optou livremente por utilizar o jogo com os estudantes, o que para Barendregt e Bekkerb (2011) pode indicar diminuição da motivação para interação com o jogo, uma vez que foi uma escolha do professor e não dos estudantes.

Para analisar o impacto do jogo sobre a aprendizagem dos conceitos relacionados à Biologia Molecular pelos estudantes, aplicou-se o questionário apresentado na tabela 2, a 26 estudantes, destes 19 haviam interagido com a ferramenta BIOQUEST, enquanto 7 não interagiram, porém ambos os grupos tiveram aulas sobre os temas relacionados à Biologia Molecular com os professores envolvidos na pesquisa.

A cada questão foi atribuído o valor de 1 ponto, a partir das médias de acerto às questões foram obtidos os seguintes resultados.

GRÁFICO 1: DESEMPENHO MÉDIO NAS QUESTÕES CONCEITUAIS RELACIONADAS À BIOLOGIA MOLECULAR, TANTO DE ALUNOS QUE UTILIZARAM O SOFTWARE BIOQUEST QUANTO ALUNOS QUE NÃO O UTILIZARAM.



FONTE: Acervo pessoal da autora.

O Gráfico 1 mostra que o desempenho dos estudantes que utilizaram o BIOQUEST se mostrou maior em todas as questões apresentadas. O teste estatístico U de Mann-Whitney mostrou que a utilização do software BIOQUEST tem efeito sobre a nota obtida na questão 3, ($U= 39,5$; $p < 0,05$), porém não mostrou efeito sobre as notas obtidas nas demais questões. Ressalta-se que a questão 3 relaciona-se aos conteúdos tratados explicitamente nas fases 2 e 4.

Nessas duas fases, estão presentes elementos de gamificação que promovem a motivação do usuário, tais como, na fase 2, uso de narrativa, quando é apresentado ao jogador que a amostra amplificada pela PCR perdeu sua etiqueta e se confundiu com outras armazenadas no mesmo freezer. Na fase 4, o jogador assume o papel da enzima de restrição para poder clivar os plasmídeos os quais, posteriormente serão inseridos genes amplificados da insulina, há presença marcante de elementos de motivação extrínseca como marcadores de tempo, meios não óbvios, mas descobertos para realizar tarefas (manipular a enzima para clivar os plasmídeos), pontuação e indicadores gráficos de feedback (ROBINSON; BELLOTTI, 2013). Alguns trabalhos indicam que a presença de mecânicas específicas tem potencial para aumentar o desempenho de um aluno, sua vontade de participar de brincadeiras significativas

e intelectuais, melhorando assim sua compreensão de conteúdo e conceitos (DOMÍNGUEZ et al, 2013; BUSARELLO, 2016; GAUTHIER; JENKINSON, 2017).

5 CONCLUSÕES FINAIS

Neste trabalho apresentamos a avaliação da utilização do software BIOQUEST por 131 estudantes da 2ª série do Ensino Médio. A partir dos dados percebemos não haver diferença significativa entre a avaliação de estudantes que têm experiência prévia com utilização de jogos e aqueles que não possuem hábito de jogar, exceto quando se trata do entendimento das comandas propostas pelo jogo, revelando-se que estudantes com experiência prévia em jogos tem maior facilidade de entendimento.

Os resultados mostraram que os estudantes conseguiram perceber a importância do conteúdo abordado pelo jogo para sua aprendizagem além de revelar que sua usabilidade e navegabilidade é bastante agradável e de fácil execução.

Em relação ao impacto sobre a aprendizagem, os dados mostraram que os estudantes tiveram um desempenho melhor nas questões que envolviam conceitos trabalhados em fases do jogo com elementos de gamificação mais evidentes como do tipo *narrative*, e elementos de motivação extrínseca como marcadores de tempo, meios não óbvios, mas livres para realizar ações como manipular a enzima para clivar os plasmídeos.

Os dados mostraram que a pontuação e indicadores gráficos de *feedback* apresentaram impacto positivo na aprendizagem.

5.1 LIMITAÇÕES

Ao longo do desenvolvimento da ferramenta BIOQUEST e de sua testagem observaram-se alguns pontos limitantes que devem ser considerados.

Durante o processo de idealização do software, houve a necessidade de se eleger alguns conteúdos a serem abordados com maior nível de detalhamento em detrimento de outros. Essa escolha amparou-se nos documentos oficiais balizadores da educação em nível nacional e estadual, que durante o desenvolvimento deste trabalho passaram por profundas mudanças com a implementação da Base Nacional Comum Curricular e o Currículo Paulista. Assim, é importante pontuar que as habilidades e competências que permeiam a ferramenta desenvolvida ampararam-se tanto na literatura da área quanto em tais documentos recentemente publicados. Para o entendimento das mudanças incorporadas nos documentos acima citados, foi necessário um profundo estudo e atualização profissional, com a realização de cursos oferecidos pelo Ministério da Educação (MEC) por parte da autora.

Durante o processo de codificação da ferramenta BIOQUEST, inicialmente a autora que possui familiaridade com desenvolvimento de jogos em linguagem C e HAXE, utilizou o software de desenvolvimento de jogos STENCYL. Porém, com o anúncio do fim do suporte ao FLASH PLAYER no ano de 2017, oficialmente findado em 2020, foi necessária a escolha de uma nova ferramenta para a prototipagem do BIOQUEST (o software Game Maker), uma vez que o software inicialmente escolhido gerava arquivos que necessitavam do Flash Player para seu funcionamento.

Durante a testagem do software BIOQUEST em sala de aula, observaram-se inúmeras dificuldades: a. o acesso às escolas e sua efetiva participação, que só foi possível devido à intervenção realizada pela Diretoria Regional de ensino; b. as salas de informática não possuíam número de computadores suficientes para todos os alunos de uma mesma sala; c. não possuíam um profissional dedicado ao atendimento de dúvidas, agendamento e organização dos computadores sendo este serviço de agendamento, organização e apoio executado por outro profissional da escola, normalmente o coordenador pedagógico, que possui muitas outras demandas na escola e por conta disso, houveram dificuldades de agendamento das atividades; d. dificuldade de instalação do software nos computadores da escola, pois o gerenciamento de permissões de instalação é feito pelo órgão regional, no caso a Diretoria Regional de Ensino, sendo necessária a utilização de *pendrives* com um arquivo executável do software para sua utilização.

5.2 PERSPECTIVAS FUTURAS E DESDOBRAMENTOS DA PESQUISA

Diante de tais dificuldades e tendo em vista que o software BIOQUEST pode ser utilizado por estudantes da educação básica como uma ferramenta de apoio ao trabalho do professor cujo uso reforça a compreensão dos conteúdos de Biologia Molecular, considera-se relevante pontuar a necessidade do desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a incorporação de jogos digitais na educação básica. Para tal se faz necessário o investimento em formação inicial e continuada de professores, para: i. apropriação de metodologias como a gamificação e o próprio uso de jogos em sala de aula; ii. conhecimentos mínimos de informática para melhor exploração dos recursos didáticos já disponíveis em diversas plataformas.

Além da oferta de curso de formação continuada para utilização do software BIOQUEST à professores da rede estadual da região de São Carlos, um outro desdobramento desta pesquisa

pode ser o desenvolvimento do software para celulares e tablets, considerando a crescente democratização do acesso e obtenção à smartphones observada nos últimos anos.

6 PUBLICAÇÃO DE ARTIGO CIENTÍFICO

O artigo fruto desta pesquisa foi publicado na revista International Journal for Innovation Education And Research, cujo título é “BIOQUEST: gamified software for molecular biology teaching”. DOI: <https://doi.org/10.31686/ijer.vol8.iss11.2777> INTERNATIONAL JOURNAL FOR INNOVATION EDUCATION AND RESEARCH, v. 8, p. 469-485, 2020.

7 ATIVIDADES ACADÊMICO/CIENTÍFICAS

Organização e realização de Curso de Formação Continuada para Professores da Educação Básica “Biologia Molecular: Princípios, Técnicas e Aplicações no Ensino Fundamental e Médio”, autorizado pela Portaria EFAP de 26/06/2017, DOE de 27/06/2017, realizado no período de 03/08/2017 a 26/08/2017, com 30 horas, em São Carlos/Universidade Federal de São Carlos publicado no DOE de 22/09/2017.

REFERÊNCIAS

BAADEN, M; DELALANDE, O; FERREY, N; PASQUALI, S; WALDISPÜHL J, TALY, A. Ten simple rules to create a serious game, illustrated with examples from structural biology. **PLOS Computational Biology** 14(3): e1005955. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005955>. 2018.

BARENDREGT, W.; BEKKER, T. The influence of the level of free-choice learning activities on the use of an educational computer game. **Computers & Education**, 56(1), pp.80-90. 2011.

BOURGONJON, J; VALCKE, M; SOETAERT, R; SCHELLENS, T. Students' perceptions about the use of video games in the classroom. **Computers & Education**.v. 54. pp. 1145–1156. 2009.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Pcn+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica.244p.2002.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Orientações curriculares para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias - Secretaria de Educação Básica**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, v.2. 135 p.2006.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf> Acesso em: 14 fev. 2022.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Brasil no Pisa 2018** [recurso eletrônico]. – Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2020. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/avaliacoes_e_exames_da_educacao_basica/relatorio_brasil_no_pisa_2018.pdf> Acesso em: 14 fev. 2022.

BUSARELLO, R. **Gamification: princípios e estratégias**. Raul Inácio Busarello. São Paulo: Pimenta Cultural, 2016. 126p.

CAMARGO, S.; MARIA, E.; INFANTE MALACHIAS, M.; JOSÉ, E ; AMABIS, J. O ensino de biologia molecular em faculdades e escolas médias de São Paulo. **Revista de Ensino de Bioquímica**. 5. 10.16923/reb.v5i1.28. 2007.

CARDOSO, F.; DUMPEL, R.; SILVA, L. B. GOMES; RODRIGUES, C. R.; SANTOS, D. O.; CABRAL, L. M.; CASTRO, H. C. Just working with the celular machine: a high school game for teaching molecular biology. **Biochemistry and Molecular Biology Education**. v. 36, n. 2. p.120-124. 2008.

CARVALHO, L. J.; GUIMARÃES, C. R. P. Tecnologia: um recurso facilitador do ensino de ciências e biologia. **Encontro Internacional de Formação de Professores e Fórum Permanente de Inovação Educacional**. v.9, n.1. 2016. Disponível em: <http://eventos.set.edu.br/index.php/enfope/article/view/2301/716> . Acesso: 26 fev 2017.

CARVALHO, J. C. Q. ; BELTRAMINI, L. M. ; ABEL, L. D. S. ; BOSSOLAN, N. R. S. - Sintetizando Proteínas-, o jogo: proposta e avaliação de uma ferramenta educacional. *Revista de Ensino de Bioquímica*, v. 12, p. 48, 2014. Disponível em: <http://bioquimica.org.br/revista/ojs/index.php/REB/article/view/328> Acesso: 21 mai 2022.

CHANDLER, H. *Manual de Produção de Jogos Digitais*. Porto Alegre: Editora Bookman, 2012.

CHENG, M. T; LIN, W. M; SHE, H. C. Learning through playing Virtual Age: Exploring the interactions among student concept learning, gaming performance, in-game behaviors, and the use of in-game characters. **Computers & Education**. v.86. pp.18–29. 2015.

CIRNE, A. D. P. P;. **Dificuldades de aprendizagem sobre conceitos de genética no ensino fundamental**/ Adriana Damasceno Pereira Pinto Cirne. Natal, 2013.269 p. Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática. https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/16113/1/AdrianaDPP_DISSERT.pdf. Acesso: 11 dez. 2016.

COOK, M.; WIEBE, E. N.; CARTER, G. The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. **Science Education**. 2008.

CONOVER, W. J. **Practical Nonparametric Statistics**. 3. ed., John Wiley & Sons, 1999.

CORNEJO, R. El experimento educativo chileno 20 años después: una mirada crítica a los logros y falencias del sistema escolar. **Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación**. v.4, n. 1, 2006. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/551/55140109.pdf> Acesso: 26 fev. 2017.

DEGROOT, M. H.; SCHERVISH, M. J. **Probability and Statistics**.3. ed, Addison-Wesley, 2001.

DOMÍNGUEZ, A.; NAVARRETE, J. S.; MARCOS, L.; SANZ, L. F.; PAGÉS, C.; HERRÁIZ, J. J. M.. Gamifying learning experiences: Practical implications and outcomes. **Journal Computers & Education**, Virginia, v. 63, p. 380–392, 2013.

FONTES, G. O.; CHAPANI, D. T.; SOUZA, A. L. B. Simulação do processo de síntese de proteínas: limites e possibilidades de uma atividade didática aplicada a alunos de ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências* v.8, n.1. 2013. Disponível em: http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID197/v8_n1_a2013.pdf Acesso: 12 dez. 2016.

GAUTHIER, A.; JENKINSON, J. Serious Game Leverages Productive Negativity to Facilitate Conceptual Change in Undergraduate Molecular Biology. **International Journal of Game-Based Learning**, 7(2), 20–34. 2017.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

JAPPUR, R. F. **Modelo conceitual para criação, aplicação e avaliação de jogos educativos digitais**. Florianópolis. Tese [Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento] - Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

JUSTINA, L. A. D. E RIPEL, J. L. Ensino de Genética: representações da ciência da hereditariedade no ensino médio. IN: IV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS 2003, Bauru, São Paulo, 2003. CD.

KAZITORIS, A. R. NETO, J. M. Concepções Alternativas no Ensino de Biologia: uma revisão dos resumos de 40 anos de dissertações e teses brasileiras (1972 -2012). X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC Águas de Lindóia, SP. 2015. Disponível em: <http://www.xenpec.com.br/anais2015/resumos/R2266-1>. Acesso: 11 dez. 2016.

KIM, B.; PARK, H.; BAEK, Y. Not just fun, but serious strategies: Using meta-cognitive strategies in game-based learning. **Computers & Education**.v. 52, pp. 800–810. 2009.

LEHNINGER, T. M., NELSON, D. L. & COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 6ª ed. Ed. Artmed. 2014.

MASCARENHAS, M. J. O.; SILVA, V. C.; MARTINS, P. R. P.; FRAGA, E. C.; BARROS, M. C. Estratégias metodológicas para o ensino de genética em escola pública. **Pesquisa em Foco**, São Luís, vol. 21, n. 2, p. 05-24. 2016.

MARBACH-AD, G.; ROTBAIN, Y.; STAVY, R. Using Computer Animation and Illustration Activities to Improve High School Students' Achievement in Molecular Genetics. **Journal of Research in Science Teaching**.v.45, n. 3, pp.273–292. 2008.

MEIER, M; GARCIA, S. **Mediação da aprendizagem**: contribuições de Fuerstein e de Vygotsky. Curitiba: Edição do autor, 2007.

MOURA, J.; DEUS, M. S. M.; GONÇALVES, N. M. N.; PERON, A. P.; Biologia/genética: o ensino de biologia, com enfoque a genética, das escolas públicas no Brasil – breve relato e reflexão. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**. Londrina, v. 34, n. 2, p. 167-174. 2013.

NOETHER, G.E.; DUEKER, M. **Introduction to Statistics**: the nonparametric. Springer, 1990.

PENNINGTON, B.O.; SEARS, D.; CLEGG, D.O.; Interactive Hangman teaches amino acid structures and abbreviations. **Biochem Mol Biol Educ**. 42(6):495-500. doi:10.1002/bmb.20826. 2014.

QUIRINO, B. **Revolução dos transgênicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

ROBINSON, D.; BELLOTTI, V. A preliminary taxonomy of gamification elements for varying anticipated commitment. Presented at the ACM CHI 2013 Workshop on Designing Gamification: Creating Gameful and Playful Experiences. Disponível em: http://gamification-research.org/wp-content/uploads/2013/03/Robinson_Bellotti.pdf. Acesso: 26 fev. 2017.

SÃO PAULO (Estado) Secretaria da Educação. Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas tecnologias / Secretaria da Educação. 1. ed. atual. – São Paulo: SE, 2012.152 p. Disponível em: <http://www.educacao.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/780.pdf>. Acesso 18 jan 2017.

SENA, S. ; CATAPAN, A. H. Metodologias para a criação de jogos educativos: uma revisão sistemática da literatura. **RENOTE**. Revista Novas Tecnologias na Educação , v. 14, p. 1-11, 2016.

SEVERO, I. R. M.; KASSEBOEHMER, A.C. Estudo do perfil motivacional de estudantes da educação básica na disciplina de Química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. v. 16, n.1, 94-116. 2017. Disponível em: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen16/REEC_16_1_5_ex1066.pdf Acesso: 28 fev. 2017.

SIKUMBANG, D; RAKHMAWATI, I; SUWANDI, T. Investigating the cognitive structure of biology preservice teacher about central dogma of molecular biology through word association test. **Journal of Physics: Conf. Series** 1155 012047. doi:10.1088/1742-6596/1155/1/012047. 2019.

SPIEGEL, C. N.; ALVES, G. G.; CARDONA, T. D. S.; MELIM, L. M. C., LUZ, M. R. M.; ARAÚJO-JORGE, T.C.; HENRIQUE-PONS, A. Discovering the cell: an educational game about cell and molecular biology. **Journal of Biological Education**. v.43, n.1. pp 27-36. 2008. doi: 10.1080/00219266.2008.9656146

STEGMAN, M. Immune Attack players perform better on a test of cellularimmunology and self-confidence than their classmates whoplaya control video game. **Faraday Discuss**. 169: 403–423. doi:10.1039/c4fd00014e. 2014.

STOLARSKY BEN-NUN, M.; YARDEN, A. Learning molecular genetics in teacher-led outreach laboratories. **Journal of Biological Education**. (44)1, 19-25. 2009.

TAUCEDA, K. C.; PINO, J. C. D. Modelos e outras representações mentais no estudo do dna em alunos do ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 15, n. 2, p 337-354, 2010.

VIEIRA, J. J.; MORAES, M. P.; VIEIRA, A. L. C. Avaliação e políticas públicas em educação: fatores determinantes na qualidade e formação de profissionais.**Revista on line de Política e Gestão Educacional**.n.16. 2014. Disponível em: <http://piwik.seer.fclar.unesp.br/rpge/article/view/9357/6208> Acesso: 26 fev. 2017.

XAVIER, M. C. F.; FREIRE, A. S.; MORAES, M. O. A nova (moderna) biologia e a genética nos livros didáticos de biologia no ensino médio. **Ciência & Educação**. v. 12, n. 3, p. 275-

289, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v12n3/03.pdf> Acesso: 12 dez. 2016.

APENDICE – A

QUADRO A-1: QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA TRAÇAR O PERFIL DOS PROFESSORES CURSISTAS.

Identificação
Nome:
Sexo: M() F()
Idade:
Formação
() Graduação: _____ ano de conclusão: _____
() Mestrado: _____ ano de conclusão: _____
() Doutorado: _____ ano de conclusão: _____
() Especialização: _____ ano de conclusão: _____
Teve a disciplina de Biologia Molecular em sua formação? () Sim, em menos de 5 anos, () Sim, há mais de 5 anos, () Não
Leciona? () Sim, há quanto tempo? _____ () Não
Se você respondeu Sim na questão anterior, você leciona em escola:
() Pública () Privada () ambas
Onde busca informações sobre Biologia Molecular?(se necessário, marque mais de uma alternativa)
() Livros () Mídias (TV, Rádio, revistas, jornais)
() Internet, indique um site _____
() Congressos, simpósios () Pós-graduação () Cursos de formação continuada a distância
() Cursos de formação continuada presenciais
() Não busco
Questões específicas sobre o curso
1. Assinale, entre os conceitos mencionados abaixo, aqueles que lhe vêm a mente quando o tema é “Biologia Molecular”.
A() Química da célula: átomos, moléculas, energia.
B() Algumas estruturas celulares específicas: DNA, RNA, plasmídeos e cromossomos.
C() Alguns processos celulares específicos: respiração, transcrição e tradução.
D() Algumas técnicas específicas: PCR, eletroforese em gel, análise de restrição, mapeamento e etc.
E() Assuntos amplamente divulgados pela mídia (genoma, transgênicos, engenharia genética).
2. Assinale entre os conceitos mencionados aqueles que você já trabalhou com seus alunos (pode ser assinalada mais de uma alternativa).
A() Química da célula: átomos, moléculas, energia.
B() Algumas estruturas celulares específicas: DNA, RNA, plasmídeos e cromossomos.
C() Alguns processos celulares específicos: respiração, transcrição e tradução.
D() Algumas técnicas específicas: PCR, eletroforese em gel, análise de restrição, mapeamento e etc.
E() Assuntos amplamente divulgados pela mídia (genoma, transgênicos, engenharia genética).

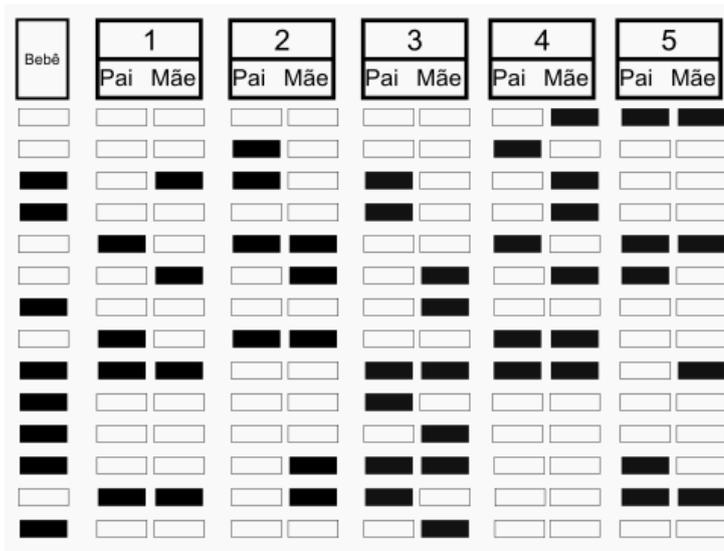
07	VOCÊ DIRIA QUE SEU APROVEITAMENTO NESTE CURSO FOI BOM?				
08	VOCÊ ACHA QUE PODERÁ APLICAR OS CONHECIMENTOS ADQUIRIDOS DURANTE O CURSO, NA SUA PRÁTICA PROFISSIONAL?				
09	OS ORIENTADORES APRESENTARAM HABILIDADES NA UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS E TÉCNICAS DE ENSINO				
10	VOCÊ DIRIA QUE SUA INTEGRAÇÃO COM OS DEMAIS PARTICIPANTES FOI BOA?				

Tabela A-2: Questões usadas para avaliar o impacto do jogo sobre a aprendizagem de conceitos relacionados à Biologia Molecular.

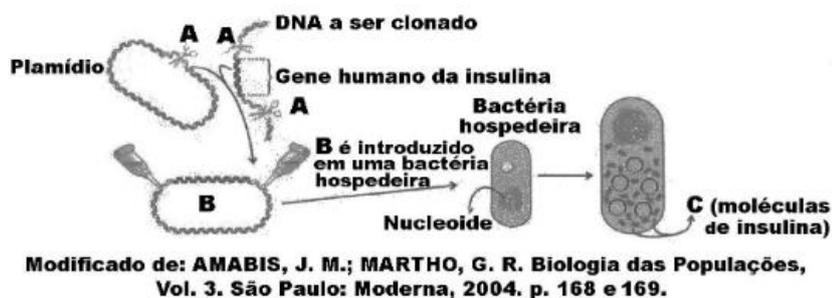
Nº	Questão
1	<p>Uma das técnicas utilizadas na Biologia molecular para a manipulação do DNA é a reação em cadeia da polimerase (PCR). O objetivo dessa técnica é:</p> <ol style="list-style-type: none"> Cortar longas sequências de DNA em fragmentos menores. Criar múltiplas cópias de um trecho específico de DNA. Separar fragmentos de tamanhos diferentes devido a sua migração em uma matriz porosa de gel. Ligar fragmentos de DNA entre si. Não estudei esse assunto.
2	<p>A técnica conhecida como eletroforese em gel:</p> <ol style="list-style-type: none"> Separa os fragmentos de DNA de diferentes tamanhos devido a sua facilidade em percorrer uma matriz porosa de gel, quando submetidos a uma corrente elétrica. Separa fragmentos de DNA de diferentes tamanhos pois utiliza enzimas que ficam na matriz porosa de gel. Liga fragmentos de DNA entre si. Cria múltiplos fragmentos de DNA devido à ação da corrente elétrica sobre uma fita de DNA extensa. Não estudei esse assunto.

-
- 3 As enzimas de restrição ocorrem naturalmente em organismos procariotos, e tem o papel de proteger a célula contra vírus invasores. Sua utilização na Biologia Molecular se deve a sua função de:
- Ligar fragmentos de DNA entre si.
 - Criar múltiplas cópias de um trecho específico de DNA.
 - Reconhecer e quebrar as ligações entre alguns dos nucleotídeos de sequências específicas de DNA, chamadas de sítios de restrição.
 - Copiar a sequência de nucleotídeos de uma fita de DNA.
 - Não estudei esse assunto.
- 4 A manipulação genética de um plasmídeo, com o objetivo de se sintetizar uma proteína que aquele organismo originalmente não produz, envolve:
- A clivagem da molécula de DNA circular, a inserção do gene de interesse e a ligação entre o gene e o plasmídeo.
 - A clivagem da molécula de DNA circular, a inserção do gene de interesse, a ligação entre o gene e o plasmídeo e a transformação bacteriana com o plasmídeo recombinante.
 - A clivagem da molécula de DNA circular, a inserção do gene de interesse e a ligação entre o gene e o plasmídeo e a aplicação de antibióticos específicos.
 - A clivagem da molécula de DNA cromossômico bacteriano, a inserção do gene de interesse, a ligação entre o gene e o DNA cromossômico.
 - Não estudei esse assunto.
- 5 Durante o processo de transformação bacteriana, damos um choque de temperatura na célula e a tratamos com cloreto de cálcio pois:
- Desejamos criar poros na membrana celular facilitando que o DNA entre na célula.
 - Desejamos fechar os poros da membrana e parede celular impedindo que o DNA saia da célula.
 - Desejamos abrir os poros da membrana e parede celular facilitando que o DNA saia da célula.
 - Essa etapa favorece a multiplicação da célula bacteriana.
 - Não estudei esse assunto.
- 6 Uma das etapas da clonagem molecular é utilizar antibióticos sobre as células que passaram pelo processo, como por exemplo o antibiótico canamicina, que serve para:
- Eliminar as bactérias que poderiam contaminar o experimento.
 - Eliminar as bactérias que continham o plasmídeo recombinante, já que esse continha um gene capaz de inutilizar a ação da canamicina.
 - Eliminar as bactérias que não continham o plasmídeo recombinante, já que esse continha um gene capaz de inutilizar a ação da canamicina.
 - Eliminar as bactérias que continham o plasmídeo recombinante, já que esse continha um gene capaz de aumentar a ação da canamicina.
 - Não estudei esse assunto.
- 7 Fora detectada uma troca de bebês em um determinado hospital, tal confusão envolveu cinco casais que alegavam ser os pais de um bebê. Assim, foi solicitada a confirmação da paternidade pelo exame de DNA. O resultado do teste encontra-se esquematizado na figura abaixo. Cada pessoa apresenta um padrão de bandas de DNA (faixas, um para o suposto pai e
-

um para a suposta mãe) comparadas às do bebê. Analise a imagem a seguir e responda, qual dos casais pode ser considerado como pais biológicos do bebê?



- a) 1
 b) 2
 c) 3
 d) 4
 e) 5
 f) Não estudei esse assunto.
- 8 A figura abaixo, ilustra as principais etapas utilizadas na técnica de clonagem molecular utilizada para produzir a insulina humana em células bacterianas: um segmento de DNA humano contendo o código para a síntese da insulina, é ligado a um plasmídeo e é introduzido em uma bactéria a partir da qual são obtidos clones capazes de produzir o hormônio em questão.



Analisando a figura de acordo com seus conhecimentos sobre as técnicas de clonagem molecular, identifique com V a(s) afirmativa(s) verdadeira(s) e com F, a(s) falsa(s):

- () A letra A indica a representação da enzima de restrição.
- () A letra B representa um plasmídeo recombinante.
- () A letra C indica as moléculas de insulina humana sintetizadas a partir de informação dada pelo gene humano induzido a funcionar na bactéria.

() A letra B representa a estrutura que após ser introduzida na bactéria hospedeira impede o funcionamento do nucleóide.

A sequência correta é:

- a) VVVF
 - b) VVFV
 - c) VFVF
 - d) FVVF
 - e) FFFV
 - f) Não estudei esse assunto
- 9 Em 21 de junho de 2000 foi anunciado o sequenciamento do genoma humano, tal anúncio representa que os cientistas determinaram:
- a) a sequência de nucleotídeos dos cromossomos humanos.
 - b) todos os tipos de proteínas codificados pelos genes humanos.
 - c) a sequência de aminoácidos do DNA humano.
 - d) a sequência de aminoácidos de todas as proteínas humanas.
 - e) o número correto de cromossomos da espécie humana.
 - f) Não estudei esse assunto.
- 10 O que é Engenharia Genética?
- a) Conjunto de procedimentos empregados na manipulação de DNA.
 - b) Processo por meio do qual genes produzem proteínas.
 - c) Ramo da Biologia que estuda os genes humanos.
 - d) Ramo especializado na produção de equipamentos científicos.
 - e) Não estudei esse assunto.

GABRITO: 1B, 2A, 3C, 4B, 5A, 6C, 7C, 8A, 9A e 10A.

ANEXO – A

Questões utilizadas no Quizz Final de BIOQUEST.

Questão 1:

Exploramos no jogo algumas técnicas utilizadas na Biologia molecular para a manipulação do DNA. Uma delas é a reação em cadeia da polimerase (PCR). O objetivo dessa técnica é:

- a) Cortar longas sequências de DNA em fragmentos menores.
- b) Criar múltiplas cópias de um trecho específico de DNA.
- c) Separar fragmentos de tamanhos diferentes devido a sua migração em uma matriz porosa de gel.
- d) Ligar fragmentos de DNA entre si.

2. A técnica conhecida como eletroforese em gel:

- a) Separa os fragmentos de DNA de diferentes tamanhos devido a sua facilidade em percorrer uma matriz porosa de gel, quando submetidos a uma corrente elétrica.
- b) Separa fragmentos de DNA de diferentes tamanhos pois utiliza enzimas que ficam na matriz porosa de gel.
- c) Liga fragmentos de DNA entre si.
- d) Cria múltiplos fragmentos de DNA devido à ação da corrente elétrica sobre uma fita de DNA extensa.

3. As enzimas de restrição ocorrem naturalmente em organismos procariotos, e tem o papel de proteger a célula contra vírus invasores. Sua utilização na Biologia Molecular se deve a sua função de:

- a) Ligar fragmentos de DNA entre si.
- b) Criar múltiplas cópias de um trecho específico de DNA.

c) Reconhecer e quebrar as ligações entre alguns dos nucleotídeos de sequências específicas de DNA, chamadas de sítios de restrição.

d) Copiar a sequência de nucleotídeos de uma fita de DNA.

4. A manipulação genética de um plasmídeo, com o objetivo de se sintetizar uma proteína que aquele organismo originalmente não produz, envolve:

a) A clivagem da molécula de DNA circular, a inserção do gene de interesse e a ligação entre o gene e o plasmídeo.

b) A clivagem da molécula de DNA circular, a inserção do gene de interesse, a ligação entre o gene e o plasmídeo e a transformação bacteriana com o plasmídeo recombinante.

c) A clivagem da molécula de DNA circular, a inserção do gene de interesse e a ligação entre o gene e o plasmídeo e a aplicação de antibióticos específicos.

d) A clivagem da molécula de DNA cromossômico bacteriano, a inserção do gene de interesse, a ligação entre o gene e o DNA cromossômico.

5. Durante o processo de transformação bacteriana, damos um choque de temperatura na célula e a tratamos com cloreto de cálcio pois:

a) Desejamos criar poros na membrana e na parede celular facilitando que o DNA entre na célula.

b) Desejamos fechar os poros da membrana e parede celular impedindo que o DNA saia da célula.

c) Desejamos abrir os poros da membrana e parede celular facilitando que o DNA saia da célula.

d) Essa etapa favorece a multiplicação da célula bacteriana.

6. O uso do antibiótico kanamicina explorado no jogo serviu para:

a) Eliminar as bactérias que poderiam contaminar o experimento.

b) Eliminar as bactérias que continham o plasmídeo recombinante, já que esse continha um gene capaz de inutilizar a ação da kanamicina.

c) Eliminar as bactérias que não continham o plasmídeo recombinante, já que esse continha um gene capaz de inutilizar a ação da kanamicina.

d) Eliminar as bactérias que continham o plasmídeo recombinante, já que esse continha um gene capaz de aumentar a ação da kanamicina.

7. Sobre o mRNA não é possível afirmar que:

a) É composto por ribonucleotídeos: A, U, G e C.

b) Sua função é a de levar a informação genética contida no DNA até a maquinaria de tradução, onde será sintetizada uma proteína.

c) É uma fita simples idêntica à fita de DNA chamada codificadora (à complementar ao DNA), exceto pelo fato de que a Timina é substituída pela Uracila.

d) Ele é sintetizado pela enzima taq DNA polimerase.

GABARITO: 1B, 2A, 3C, 4B, 5A, 6C, 7D

ANEXO – B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) para participar, como voluntário(a), de uma pesquisa. Meu nome é Marília Faustino da Silva, sou doutoranda do Programa de Pós-Graduação em genética Evolutiva e Biologia Molecular e minha área de atuação é ensino de Biologia Molecular.

Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa, você não será penalizado(a) de forma alguma.

Em caso de dúvida **sobre a pesquisa**, você poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável Prof^a Dr^a Andréa Soares da Costa Fuentes no telefone: (16)98132-5381 ou pelo email:andreaufscar@gmail.com.

Sua participação envolve o preenchimento de um questionário escrito a cerca do ensino de biologia molecular na educação básica, cujo tempo de preenchimento estimado é de 15 minutos. Assim, não apresenta riscos aos participar, e você pode se negar a responder qualquer pergunta que lhe for constrangedora, bem como retirar seu consentimento a qualquer momento, sem nenhum prejuízo ou penalização.

A participação nesse estudo é voluntária e se você decidir não participar ou quiser desistir de continuar em qualquer momento, tem absoluta liberdade de fazê-lo.

Na publicação dos resultados desta pesquisa, sua identidade será mantida no mais rigoroso sigilo. Serão omitidas todas as informações que permitam identificá-lo(a).

Mesmo não tendo benefícios diretos em participar, indiretamente você estará contribuindo para a compreensão do fenômeno estudado e para a produção de conhecimento científico.

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO DA PESQUISA

Eu, _____, portador do RG: _____, abaixo assinado, concordo em participar do estudo **Nova proposta didática para o ensino de biologia molecular na educação básica**, como sujeito. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador(a) Marília Faustino da Silva sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade (ou interrupção de meu acompanhamento/ assistência/tratamento, se for o caso).

Local e data: _____

Nome:

Assinatura:

ANEXO – C

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM E VOZ**Pessoa maior de 18 anos**

Neste ato, e para todos os fins em direito admitidos, autorizo expressamente a utilização da minha imagem e voz, em caráter definitivo e gratuito, constante em fotos e filmagens decorrentes da minha participação no curso **Biologia Molecular: princípios, técnicas e aplicações no ensino fundamental e médio**, promovido pelo Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular da Universidade Federal de São Carlos em parceria com a Diretoria de Ensino – Região de São Carlos, a seguir discriminado:

Programa de Pós-Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular
 Biologia Molecular: princípios, técnicas e aplicações no ensino fundamental e médio
 Pesquisadores

Prof. Dr. Marcos Roberto Chiaratti, Prof^a. Dr^a. Andréa Soares da Costa Fuentes, Prof. Dr. Flavio Henrique Silva, Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Marques Novo Mansur, Dr^a. Camilla Alves Santos, Dr^a. Patricia Brassolatti, Dr^a. Carolina de Barros Machado da Silva, Dr^a. Uliana Sbeguen Stotzer, Dr^a. Terumi Hatanaka e Dr^a. Katia Maria Ferreira, Dr^a. Daniela Morilha Neo Justino, Dr^a. Dayelle Toyama, Dr^a. Gislaíne Angélica Rodrigues Silva, Pós-doutorandas do Programa de Pós Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular da Universidade Federal de São Carlos. Heber dos Santos Tavares, Marília Faustino da Silva, Vinícius Marquioni Monteiro, Karen F. Carvalho, Bruna Garcia, Hellen R. Arruda, alunos do Programa de Pós- Graduação em Genética Evolutiva e Biologia Molecular da Universidade Federal de São Carlos.

Objetivos principais:

- Promover a atualização do professor em Biologia Molecular;
- Habilitar o professor para que inicie sua trajetória na formação didática aplicada ou recicle sua formação, caso já lecion;
- Instrumentalizar o professor de forma a auxiliá-lo na transposição didática da Biologia Molecular, promovendo de forma indireta oportunidades de ensino aprendizagem diferenciadas aos alunos.

As imagens e a voz poderão ser exibidas: nos relatórios parcial e final dos projetos que envolvem este curso, na apresentação áudio-visual do mesmo, em publicações e divulgações acadêmicas, em festivais e premiações nacionais e internacionais, assim como disponibilizadas no banco de imagens resultante da pesquisa e na Internet, fazendo-se constar os devidos créditos.

Os pesquisadores ficam autorizados a executar a edição e montagem das fotos e filmagens, conduzindo as reproduções que entenderem necessárias, bem como a produzir os respectivos materiais de comunicação, respeitando sempre os fins aqui estipulados.

Por ser esta a expressão de minha vontade, nada terei a reclamar a título de direitos conexos a minha imagem e voz ou qualquer outro.

_____, _____ de _____ de 2017.

 Assinatura

Nome: _____

RG.: _____ CPF: _____ Telefone1: _____

Endereço: _____