UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE QUÍMICA

Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Bioquímica)

LARISSA ASSIS BARONY VALADARES FONSECA

**Desenvolvimento e avaliação de tutoriais de
moléculas como ferramenta de ensino: o caso dos
tutoriais "Estrutura e Estabilidade do DNA" e
"Estabilidade do DNA"**

Versão corrigida

São Paulo

Data do Depósito na SPG:

07/03/2019

**LARISSA ASSIS BARONY VALADARES
FONSECA**

**Desenvolvimento e avaliação de tutoriais de
moléculas como ferramenta de ensino: o caso dos
tutoriais "Estrutura e Estabilidade do DNA" e
"Estabilidade do DNA"**

*Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Química da Universidade de São Paulo
Para obtenção do Título de Mestre em Ciências (Bioquímica)*

Orientador:
Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha Catalográfica elaborada eletronicamente pelo autor, utilizando o programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP e adaptado para a Divisão de Biblioteca e Documentação do Conjunto das Químicas da USP

Bibliotecária responsável pela orientação de catalogação da publicação:
Marlene Aparecida Vieira - CRB - 8/5562

Fd Fonseca, Larissa
Desenvolvimento e avaliação de tutoriais de
moléculas como ferramenta de ensino: o caso dos
tutoriais "Estrutura e Estabilidade do DNA" e
"Estabilidade do DNA" / Larissa Fonseca. - São
Paulo, 2019.
328 p.

Dissertação (mestrado) - Instituto de Química da
Universidade de São Paulo. Departamento de
Bioquímica.

Orientador: Marson, Guilherme

1. DNA. 2. Animações 3D. 3. Tutorial. 4.
Ferramenta de ensino. I. T. II. Marson, Guilherme,
orientador.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA

"Desenvolvimento e avaliação de tutoriais de moléculas como ferramenta de ensino: o caso dos tutoriais "estrutura e estabilidade do DNA" e "estabilidade do DNA""

LARISSA ASSIS BARONY VALADARES FONSECA

Dissertação de Mestrado submetida ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências - Área: Bioquímica.

Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson
(Orientador e Presidente)

Aprovado (a) por:

Prof. Dr. Bayardo Baptista Torres
IQ - USP

Prof. Dr. Agnaldo Arroio
FE - USP

Prof. Dr. Paulo de Avila Junior
UFABC

SÃO PAULO
06 de maio de 2019

À minha mãe, à minha irmã e ao meu esposo.

A supertorção, faz de fato, mais pelo DNA do que atuar como um realçador executivo; ela mantém o rebelde e espalhado DNA dentro do limite restrito que a célula proporcionou para ele.

Nicholas Cozzarelli, Palestras de Harvey, 1993

Ensinar não é transmitir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

A Deus, e as diversas faces da espiritualidade, pela força nas horas necessárias.

À minha família e primária fonte de recarga das baterias: minha mãe pela força, amor e por sempre me ajudar, minha irmã pela amizade, minha avó pelo amor incondicional, aos meus tios pelo incentivo e carinho, meus primos pequenos por sempre me fazerem rir e ao meu avô pelo exemplo em sempre procurar o conhecimento. São seres com os quais tenho o privilégio de seguir caminhando.

Ao meu noivo Guilherme Tenuta pelo companheirismo, amor e ajuda, estando sempre presente nos momentos bons e nos difíceis. Também agradeço à minha segunda família, em especial à minha sogra Regina e à minha cunhada Natália pelo apoio e carinho.

Aos meus amigos de Viçosa e Ipatinga pelo incentivo, discussões científicas, amizade e momentos de diversão.

Ao meu orientador, Guilherme Marson, primeiramente por aceitar me orientar e por toda a ajuda, ideias e paciência durante o início da minha jornada pelo mundo da educação.

Ao professor Bayardo, a quem considero como um segundo orientador pela caminhada do mestrado, e às professoras Lígia e Vera, com os quais foi um privilégio aprender, tendo sido muito importantes para meu aprendizado profissional e pessoal.

À professora Nadja pela ajuda como especialista e também pelo incentivo.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa, Desenvolvimento e Aplicação da Tecnologia no Ensino de Química (GPDATQ) e do Laboratório de Ensino de Bioquímica (LEB), pelas discussões em grupo e contribuições a este trabalho, em especial à Leila, Lígia e Gabriel, cujas conversas sobre a pesquisa foram de grande importância.

Aos estudantes de pós-graduação e de graduação pela prontidão em participar das atividades de aplicação dos tutoriais, em especial aos participantes das entrevistas.

Aos professores Bettina Malnic, Claudiana Gomes, Carla Columbano e Carlos Hotta, que disponibilizaram suas aulas para realização das atividades, o que foi essencial para avaliação e melhoria dos tutoriais.

Aos colegas do Laboratório de Bioquímica de Parasitas, principalmente à técnica Célia e aos professores Maria Júlia Manso Alves, Ivan Schumacher e Walter Colli, com os quais aprendi muito.

Ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e aos funcionários da secretaria da Bioquímica.

À banca do meu Exame de Qualificação composta pelos professores Claudiana Gomes, Fabio Forti e Iolanda Cuccovia, pelas sugestões para o amadurecimento da pesquisa.

E à Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado, que viabilizou a realização desta pesquisa.

FONSECA, L. A. B. V. **Desenvolvimento e avaliação de tutoriais de moléculas como ferramenta de ensino: o caso dos tutoriais "Estrutura e Estabilidade do DNA" e "Estabilidade do DNA"**. 2018. p. 243. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Bioquímica). Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Os tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA” são produtos da metodologia proposta neste trabalho para o desenvolvimento de tutorias de moléculas com animações interativas 3D, a qual estabelece as cinco diretrizes: i. Selecionar conteúdo de Bioquímica, Biologia molecular e Química; ii. Definir a distribuição do conteúdo e a estrutura do tutorial; iii. Integrar textos, diagramas, tabelas e animações moleculares 3D; iv. Desenvolver as animações integrando diferentes modos de representação 3D; e v. Exibir simultaneamente na página web animação molecular 3D associada com texto, diagrama ou tabela. A metodologia é fundamentada em Princípios de Aprendizagem por Multimídia de Mayer, no intuito de favorecer a aprendizagem da molécula, o que exige mais do que a mera exposição da estrutura molecular em três dimensões, sendo necessária a articulação da estrutura com mídias acessórias (3ª diretriz) para conduzir a exploração guiada e paulatina da molécula. No caso de biopolímeros, como o DNA, o aumento da complexidade estrutural torna mais necessário guiar o aprendiz pela exploração da molécula, sendo preciso explicar as interações químicas entre os monômeros e entre os monômeros com o meio aquoso para que o aprendiz compreenda a estrutura e estabeleça relações desta com as atividades biológicas do DNA. Assim, um dos princípios da metodologia é o estabelecimento de unidades conceituais que exploram gradativamente o biopolímero por meio de um texto constituído por pergunta e resposta e, em seguida, uma animação acionada pelo botão “Visualize 3D”. A estratégia de apresentar o conteúdo de forma segmentada

objetiva favorecer o estabelecimento de conexões entre o conhecimento novo, apresentado na unidade conceitual, e os conceitos preexistentes do aprendiz. O texto de cada unidade possui uma organização hierárquica: i. Resposta resumida para a pergunta; ii. detalhamento da resposta; iii. estabelecimento de relação estrutura/atividade biológica. Além disso, existem *hiperlinks* para explicação adicional sobre conceitos químicos e bioquímico, tais como ligação de hidrogênio, fendas do DNA, etc. Também foram adotados princípios educacionais para a criação das animações. Os recursos utilizados para construção dos tutoriais foram ferramentas do Laboratório Integrado de Química e Bioquímica e estruturas moleculares obtidas do RCSB Protein Data Bank. Para avaliação do potencial instrucional dos tutoriais foram realizadas atividades com alunos de pós-graduação e graduação que responderam a um questionário antes e outro após usar os tutoriais. Também foram conduzidas entrevistas com alunos de graduação no intuito de averiguar a percepção destes sobre a metodologia de desenvolvimento de tutoriais e a aprendizagem com o uso de tutoriais de moléculas. A análise dos questionários evidenciou uma melhoria no desempenho dos estudantes após usar os tutoriais, além de eles considerarem que aprenderam e que gostariam de usar mais tutoriais de moléculas como ferramenta de ensino e aprendizagem, o que é um indicativo do potencial da metodologia proposta neste trabalho.

Palavras-chave: Tutorial, DNA, animações 3D, moléculas.

FONSECA, L. A. B. V. **Development and evaluation of molecular tutorials as a teaching tool: the case of the "DNA Structure and Stability" and "DNA Stability" tutorials.** 2018. p. 243. Masters Thesis - Graduate Program in Biochemistry, Universidade de São Paulo, São Paulo.

The "DNA Structure and Stability" and "DNA Stability" tutorials are products of the methodology proposed in this work for the development of molecular tutorials with 3D interactive animations, which establishes the five guidelines: i. Select contents of Biochemistry, Molecular Biology and Chemistry; ii. Define the content distribution and the structure of the tutorial; iii. Integrate texts, diagrams, tables and 3D molecular animations; iv. Develop the animations integrating different modes of 3D representation; and v. Simultaneously display on the web page 3D molecular animation associated with text, diagram or table. The methodology is based on Mayer's Multimedia Learning Principles, in order to favor the learning of the molecule, which requires more than the mere exposition of the molecular structure in three dimensions, being necessary the articulation of the structure with accessory medias (3rd guideline) to conduct the guided and gradual exploration of the molecule. In the case of biopolymers, such as DNA, increasing structural complexity makes it more necessary to guide the learner through the exploration of the molecule. It is necessary to explain the chemical interactions between the monomers and between the monomers with the aqueous medium so that the learner understands the structure and establish relations between this and the DNA biological activities. Thus, one of the principles of the methodology is the establishment of conceptual units that gradually explore the biopolymer through a text consisting of question and answer and then an animation triggered by the button "Visualize 3D". The strategy of presenting content in a segmented way aims to favor the establishment of connections between the new knowledge presented in the conceptual unit and the

preexisting ones in the cognitive structure of the learner. The text of each unit has a hierarchical organization: i. Brief answer to the question; ii. detailing the response; iii. establishment of the relation between structure and biological activity. In addition, there are hyperlinks for further explanation about chemical and biochemical concepts, such as hydrogen bonding, DNA grooves, etc. Educational principles were also adopted for the creation of animations. The resources used to construct the tutorials were tools of the Integrated Laboratory of Chemistry and Biochemistry and the molecular structures obtained from the RCSB Protein Data Bank. In order to evaluate the instructional potential of the tutorials, activities were carried out with undergraduate and graduate students who answered a questionnaire before and after using the tutorials. We also conducted interviews with undergraduate students in order to ascertain their perception about the methodology of developing tutorials and the learning with the use of molecular tutorials. The analysis of the questionnaires evidenced an improvement in students' performance after using the tutorials, in addition they also consider that have learned and would like to use more molecular tutorials as a teaching and learning tool, which is an indicative of the potential of the methodology proposed in this work.

Keywords: Tutorial, DNA, 3D animations, molecule.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Questão 132 da prova do ENEM 2017. (Fonte: Site do INEP, caderno de prova amarelo, p. 15. Acesso 21/12/2018).

Figura 2: a) Dupla hélice do DNA. b) Desoxirribose. (Fonte: FERREIRA e JUSTI, 2004)

Figura 3: Representações da dupla hélice do DNA por meio de figuras geométricas. (Fonte: Autores **A.** JANN e LEITE, 2010; **B.** FONTENELLE e CAMPOS, 2017; **C.** PADILHA e PERREIRA, 2008).

Figura 4: Modelo da dupla hélice do DNA de Watson (à esquerda) e Crick em 1953. (Fonte: MENECHINI, 2003)

Figura 5: Representação tridimensional do DNA no modelo bola-e-bastão. (Fonte: Tutorial Estrutura e Estabilidade do DNA)

Figura 6: Conteúdo da página Molecular Machinery: a tour of the protein data bank. (Fonte: PDB, Acesso 21/12/18)

Figura 7: Conteúdo da página Molécula do mês do PDB. (Fonte: PDB, acesso 21/12/18)

Figura 8: Conteúdo sobre o DNA do Protopedia. (Fonte: Protopedia, acesso: 21/12/18)

Figura 9: Associação de animação de estrutura de moléculas 3D com animações em flash e textos explicativos. (Fonte: Tutorial sobre Estrutura de Proteínas, autores Noboru Jo Sakabe, Guilherme Marson e Bayardo Baptista, acesso 21/12/18)

Figura 10: Ilustração da sobreposição entre os três estágios do processo cognitivo de visualização (Fonte: adaptada de MNGUNI 2014).

Figura 11: Ilustração da Teoria Cognitiva de aprendizagem Multimídia de Mayer (adaptado de Mnguni, 2014).

Figura 12: **A.** Diagrama da organização hierárquica de cada unidade conceitual. **B.** 1ª unidade conceitual do Tutorial “Estrutura e estabilidade do DNA”.

Figura 13: Botões de ação para manipular a estrutura 3D/molécula.

Figura 14: Unidade conceitual do tutorial que inter-relaciona estrutura bidimensional e tridimensional do DNA.

Figura 15: Unidade conceitual que apresenta o reconhecimento de sequência específica de nucleotídeos por proteínas.

Figura 16: **A.** Mudança gradual de modo de representação, indicado por legenda. **B.** Sequência de animação: zoom no desoxiguanilato e indicação por legenda dos grupos estruturais: fosfato, desoxirribose e base nitrogenada (guanina).

Figura 17: Diagrama da metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D.

Figura 18: Questão sobre estrutura e estabilidade do DNA.

Figura 19: Menu de animações/conceitos exibido ao clicar sobre as lacunas do texto.

Figura 20: Enunciado da questão 3 do pré-teste aplicado aos alunos de pós-graduação.

Figura 21: Percepção dos alunos sobre o grau de familiaridade e de dificuldade com os conceitos químicos avaliados pela questão 3 do pré-teste.

Figura 22: Questão 1 do pré-teste e desempenho no preenchimento correto das 53 lacunas apresentadas na questão.

Figura 23: Enunciado da questão 1 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de pós-graduação.

Figura 24: Desempenho na questão 1 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de pós-graduação.

Figura 25: Enunciado da questão 2 (HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de pós-graduação.

Figura 26: Desempenho na questão 2 (HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de pós-graduação.

Figura 27: Desempenho nos 9 conceitos avaliados simultaneamente no pré e pós-teste aplicados aos alunos de pós-graduação.

Figura 28: Comparação dos incrementos de aprendizagem normalizados (% do acerto máximo possível) com acréscimos de 10%, evidenciando o número de alunos por faixa de incremento de aprendizagem. Incremento na aprendizagem foi calculado como $(100 * (\%Pós - \%Pré)) / (100 - \%Pré)$.

Figura 29: Correlação do incremento na aprendizagem dos 9 conceitos (LOCS) com o desempenho na questão 2 do pós-teste (HOCS) aplicado aos alunos de pós-graduação.

Figura 30: Dendrograma obtido pelo HCA para a matriz (23 x 18) evidencia três grupos que apresentam 36% (0.366) de similaridade entre os indivíduos: vermelho - grupo 1 (4 alunos), verde - grupo 2 (10 alunos) e marrom - grupo 3 (9 alunos).

Figura 31: Contribuição percentual de cada grupo para o incremento na aprendizagem dos 9 conceitos apresentados na tabela 1.

Figura 32: Percepção dos estudantes de pós-graduação sobre o critério de familiaridade com os modos de representação tridimensional de moléculas.

Figura 33: Percepção dos estudantes de pós-graduação sobre o critério de aprendizagem com o uso dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

Figura 34: Percepção dos estudantes de pós-graduação sobre o critério de usabilidade dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

Figura 35: Percepção dos estudantes sobre o critério metodologia de desenvolvimento dos tutoriais “Estrutura do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

Figura 36: Percepção dos estudantes de pós-graduação sobre o critério aceitação do uso de tutoriais de moléculas.

Figura 37: Atividade guia aplicada em conjunto com o uso do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” e desempenho no preenchimento correto das 49 lacunas do texto.

Figura 38: Enunciado da questão 1 (LOCS) do pré-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 39: Desempenho na questão 1 (LOCS) do pré-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 40: Enunciado da questão 2 (LOCS) do pré-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 41: Desempenho na questão 2 (LOCS) do pré-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 42: Enunciado da questão 1 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 43: Desempenho na questão 1 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 44: Enunciado da questão 2 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 45: Desempenho na questão 2 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 46: Enunciado da questão 3 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 47: Desempenho na questão 3 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 48: Representação esquemática da dupla hélice apresentada na capa do livro Biologia Molecular do gene - Watson, J. D. 7ª edição, 2015.

Figura 49: Enunciado da questão 4 (LOCS e HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 50: Desempenho na questão 4 (LOCS e HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 51: Enunciado da questão 5 (LOCS e HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 52: Desempenho na questão 5 (HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 53: Desempenho em relação aos 5 conceitos avaliados simultaneamente no pré e pós-teste aplicados aos alunos de graduação.

Figura 54: Comparação dos incrementos de aprendizagem normalizados (% do acerto máximo possível) com acréscimos de 10%, evidenciando o número de alunos

por faixa de incremento de aprendizagem. Incremento na aprendizagem foi calculado como $(100 * (\%Pós - \%Pré)) / (100 - \%Pré)$.

Figura 55: Dendrograma obtido pelo HCA para a matriz (59 x 10) evidencia três grupos que apresentam 31% (0.314) de similaridade entre os indivíduos: grupo 1 (18 alunos), grupo 2 (15 alunos), grupo 3 (9 alunos) e quatro (17 alunos).

Figura 56: Contribuição percentual de cada grupo para o incremento na aprendizagem de cada um dos 5 conceitos apresentados na tabela 10.

Figura 57: Percepção dos estudantes de graduação sobre o critério de familiaridade com os modos de representação tridimensional de moléculas.

Figura 58: Percepção dos estudantes de graduação sobre o critério de aprendizagem com o uso do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

Figura 59: Percepção dos estudantes de graduação sobre o critério de usabilidade do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

Figura 60: Percepção dos estudantes de graduação sobre o critério de metodologia de desenvolvimento do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

Figura 61: Percepção dos estudantes de graduação sobre o critério de aceitação do uso de tutoriais de moléculas.

Figura 62: Representação tridimensional da dupla hélice do DNA apresentada durante as entrevistas.

Figura 63: Indicação das bases nitrogenadas como sendo ligações de hidrogênio pelo estudante 31.

Figura 64: Indicação das bases nitrogenadas como sendo ligações de hidrogênio pelo estudante 36.

Figura 65: Indicação das bases nitrogenadas como sendo ligações de hidrogênio pelo estudante 25.

Figura 66: Indicação da região referente ao nucleotídeo e às ligações de hidrogênio pelo estudante 42.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: *Corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e estabilidade do DNA” fundamentado na abordagem química do biopolímero de DNA.

Tabela 2: Matriz conceitual do tutorial “Estrutura e estabilidade do DNA”.

Tabela 3: Sequência hierárquica linear e não linear (opcional) das doze unidades conceituais do tutorial “Estrutura e estabilidade do DNA”.

Tabela 4: Perfil dos estudantes de pós-graduação avaliado no questionário de pré-teste.

Tabela 5: Desempenho de cada estudante de pós-graduação na questão 1 (LOCS) em relação ao total de 53 lacunas.

Tabela 6: *Corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”, que foi avaliado na atividade com a pós-graduação.

Tabela 7: Classificação e nomenclatura das questões apresentadas nos questionários de pré-teste e pós-teste aplicados na atividade com a pós-graduação.

Tabela 8: Comparação entre o desempenho no pré-teste e pós-teste dos alunos de pós-graduação. ($p=0,05$, teste-t uni caudal)

Tabela 9: Desempenho dos três grupos evidenciados pelo dendrograma obtido pelo HCA, apresentado na figura 21.

Tabela 10: *Corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e estabilidade do DNA” com integração da abordagem química do biopolímero de DNA, que foi avaliado na atividade com a graduação.

Tabela 11: Exemplos de indicações de conceitos químicos e elementos estruturais do DNA que foram considerados corretos e errados na questão 1 do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Tabela 12: Exemplos de indicações do nucleotídeo consideradas corretas e erradas na questão 1 do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Tabela 13: Exemplos de indicações das ligações de hidrogênio consideradas corretas e erradas na seleção de nucleotídeo na questão 1 do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Tabela 14: Comparação entre o desempenho no pré-teste e pós-teste dos alunos de graduação. ($p = 0,05$, teste T uni caudal)

Tabela 15: Desempenho dos três grupos evidenciados pelo dendrograma obtido pelo HCA, apresentado na figura 46.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1 Relevância científica do DNA	23
1.2 Abordagem do DNA como um biopolímero	25
1.3 Questões de Ensino e Aprendizagem	28
1.4 Ensino e aprendizagem por meio de representações externas	52
1.5 Ensino e aprendizagem por meio de materiais didáticos que empregam moléculas interativas 3D	56
1.6 <i>Software</i> proposto: tutorial de moléculas com animações interativas 3D	59
1.7 Princípios educacionais para o desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D	60
1.8 Proposta didática de aplicação de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D	64
1.9 Avaliação do potencial instrucional de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D	65
2. OBJETIVOS	70
3. HIPÓTESES DE TRABALHO	71
CAPÍTULO 1: Metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas e a proposta didática de uso dos materiais em sala de aula	73
1.1 Métodos	73
1.2 Metodologia para o desenvolvimento de tutoriais de moléculas: o caso dos tutoriais "Estrutura e Estabilidade do DNA" e "Estabilidade do DNA"	74
Etapa 1: Selecionar o conteúdo de Bioquímica, Biologia Molecular e Química	75
Etapa 2: Definir a distribuição do conteúdo em uma matriz conceitual do tutorial	77
Etapa 3: Integrar textos, diagramas, tabelas e animações moleculares 3D	92
Etapa 4: Desenvolver as animações integrando diferentes modos de representação tridimensional de moléculas	93
Etapa 5: Exibir simultaneamente na página web mídia acessória e animação molecular 3D	96
1.3 Proposta didática de uso dos tutoriais	98
1.4 Conclusão	104
CAPÍTULO 2: Avaliação do potencial instrucional dos tutoriais "Estrutura e Estabilidade do DNA" e "Estabilidade do DNA" com alunos de pós-graduação	105
2.1. Coleta de dados	105
2.1.1 Questionário de pré-teste	107
2.1.2 Questionário de pós-teste	108
2.1.3 Questionário de percepção dos alunos de pós-graduação sobre o uso dos tutoriais "Estrutura e Estabilidade do DNA" e "Estabilidade do DNA"	109
2.2 Análise dos dados	110
2.3 Resultados e discussão	112
2.3.1 Análise descritiva do questionário de pré-teste	112
2.3.2 Análise descritiva do questionário de pós-teste	128
2.3.3 Análise comparativa dos questionários de pré-teste e pós-teste	139
2.3.4 Análise Hierárquica de Grupos (HCA)	149
2.3.5 Percepção dos estudantes de pós-graduação sobre o uso de tutoriais e a atividade	152

2.4 Conclusão	164
CAPÍTULO 3: Avaliação do potencial instrucional do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” com alunos de graduação.....	165
3.1 Coleta de dados	165
3.1.1 Questionário de pré-teste	167
3.1.2 Questionário de pós-teste.....	168
3.2 Análise dos dados	169
3.3 Resultados e discussão	170
3.3.1 Análise descritiva da atividade guia	170
3.3.2 Análise descritiva do questionário de pré-teste	173
3.3.3 Análise descritiva do questionário de pós-teste.....	180
3.3.4 Análise de conceitos alternativos.....	188
3.3.5 Análise comparativa dos questionários de pré-teste e pós-teste	198
3.3.6 Análise Hierárquica de Grupos (HCA).....	201
3.3.7 Percepção dos estudantes de graduação sobre o uso do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” e a atividade	206
3.3.8 Entrevistas semi-estruturadas.....	218
3.4 Conclusão.....	237
4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	237
APÊNDICES	244
SÚMULA CURRICULAR.....	325

1. INTRODUÇÃO

1.1 Relevância científica do DNA

O DNA, ácido desoxirribonucléico, é considerado a molécula da vida em virtude de seu papel como repositório da informação genética da célula, isto é, armazenamento da informação para coordenar os intrincados processos envolvidos no desenvolvimento e funcionamento dos seres vivos e alguns vírus. A estrutura molecular do DNA apresenta características que lhe permitem, na escala de tempo da vida de um ser vivo, ser um material genético estável o suficiente para viabilizar as atividades biológicas vitais, respostas ao ambiente e transmissão fiel da informação para os descendentes. Ao mesmo tempo, o DNA não é uma molécula estática o que possibilita, na escala de tempo da vida no planeta, modificações cumulativas que são motor fundamental da evolução das espécies.

O DNA é uma molécula ideal para nanotecnologia molecular, sendo usada desde aplicações terapêuticas até a montagem de circuitos eletrônicos com nanotubos de carbono (CONDON, 2006). Em agosto de 2017 foi aprovada pela Administração de Alimentos e Drogas dos Estados Unidos (FDA, sigla em inglês), a primeira terapia genética a ser comercializada no país para o tratamento de câncer, especificamente, de crianças com Leucemia Linfoblástica Aguda (ALL).

A terapia é denominada *CAR-T cell* (Receptor Quimérico de Antígeno - Células T) é na realidade uma imunoterapia, isto é, um tratamento que objetiva aumentar a capacidade natural das células-T do paciente de combater o câncer. Para tal, o linfócito T coletado do sangue do paciente é engenheirado geneticamente de forma a expressar um receptor quimérico (CAR) em sua superfície que reconhece

um antígeno da célula cancerígena. Em seguida, após o cultivo em laboratório de grande quantidade das células CART-T, estas são administradas ao paciente para reconhecer e destruir células B cancerígenas (EYQUEM et al., 2017).

Atualmente, a edição genética da célula T é feita usando uma tecnologia retroviral ou lentiviral para inserir a sequência do CAR no genoma do linfócito T (ZHANG et al., 2017). Porém, uma desvantagem deste método é a aleatoriedade da inserção do CAR no material genético do linfócito T, o que aumenta a possibilidade de indesejados efeitos colaterais genéticos, tais como expansão clonal, transformação oncogênica, expressão de transgênese variada e silenciamento transcricional (EYQUEM et al., 2017).

Avanços na edição mais precisa de sequências específicas de DNA estão sendo obtidos por meio da ferramenta de edição genética CRISPR-Cas9, que apresenta uma molécula de RNA guia associada a uma enzima de restrição, as quais determinam o significado da sigla Conjunto de Repetições Palindrômicas Regularmente Espaçadas, que funciona associado à proteína Cas9 (GUIMARÃES, 2016). A molécula de RNA guia possui duas regiões, uma sequência complementar a região do DNA que se deseja editar, e uma que se associa à proteína Cas9. O RNA é denominado “guia” por direcionar a Cas9 ao ponto específico de corte do genoma. Durante o processo de edição, a Cas9 desenovela a dupla hélice do DNA, possibilitando a associação do RNA guia com sua sequência complementar. Em seguida, a Cas9 cliva o DNA em dois pontos, gerando uma quebra de fita dupla que ativa vias de reparo do DNA para o reparo da lesão. No processo, ocorre a inserção da sequência de DNA desejada, por exemplo a sequência CAR (ZHANG et al., 2017).

EYQUEM et al. (2017) reportaram que o uso do CRISPR para inserção do CAR específico para o antígeno CD19 de células B, na sequência do receptor constante de células T (TRAC) humanas, resultou em expressão uniforme do CAR e aumentou a potência dos linfócitos T em comparação com CAR-T células que foram editadas convencionalmente em um modelo de camundongo de leucemia linfoblástica aguda. A técnica CRISPR também pode ser usada para deleção de mutações. MA et al. (2017) reportaram a eficiente deleção de 4 nucleotídeos de uma mutação do gene MYBPC3 em células humanas embrionárias, cuja heterozigose dominante ocasiona hipertrofia cardiomiopática, que é uma causa comum de falência das funções cardíacas.

Em relação às aplicações nanotecnológicas do DNA, a sua propriedade de complementaridade de sequência é explorada para organizar espacialmente nanotubos de carbono em um nanocircuito. Para tal, os nanotubos são ligados a sequências de nucleotídeos fita simples, que são chamadas de marcadores (*tags*). Em uma superfície é esticada uma fita simples de DNA que possui em cada extremidade uma sequência complementar à *tag* de um nanotubo. Dessa forma, dois nanotubos são colocados espacialmente próximos e em seguida, um fio de prata é posicionado sobre a fita de DNA presa à superfície, conectando os dois eletrodos (CONDON, 2006).

1.2 Abordagem do DNA como um biopolímero

O desenvolvimento de ferramentas biotecnológicas explora as propriedades do DNA em seus três níveis de organização: primária (sequência de nucleotídeos),

secundária (estrutura secundária da dupla hélice) e terciária (vias de empacotamento nos nucleossomos), a qual é dependente da sequência e da estrutura da dupla hélice (CONDON, 2006). Assim, o avanço das pesquisas é subjacente à compreensão da estrutura e da estabilidade do DNA, em outras palavras, de uma abordagem do DNA como um polímero e, mais especificamente, um biopolímero.

Os polímeros são, em geral, sintetizados a partir de substâncias de massa molar menor, em processo denominado polimerização. Durante a polimerização formam-se cadeias de diferentes tamanhos. Porém, independentemente do tamanho, as moléculas constituintes dos polímeros guardam entre si a semelhança de possuírem um único bloco molecular comum que se repete e é denominado monômero (BRITO et. al., 2011).

Em geral, os polímeros são subdivididos em 5 classes segundo sua origem e propriedades físico-químicas, sendo elas: i. Origem (Natural e sintética) ii. Mecânico (plástico, elastômero, fibra), iii. Térmico (termoplástico e termofixo), iv. Composição (homopolímeros e copolímeros) e síntese (adição e condensação). O termo natural refere-se aos biopolímeros, que são, preponderantemente, as proteínas, o DNA e os carboidratos (polissacarídeos). Existem outros biopolímeros que são menos prevalentes, tais como, poliéster, polifenóis (ex: lignina) e politerpenos. É comum o uso incorreto do termo biopolímero para designar polímeros biodegradáveis que possuem origem sintética ou até mesmo polímeros sintéticos cujos monômeros provém de fonte natural ou renovável, os quais devem ser chamados de “material de base biológica” (BRITO et. al., 2011).

O processo de síntese polimérica origina cadeias de diferentes tamanhos, sendo a massa molecular do polímero sintético obtida pela média das massas moleculares das distintas cadeias. Em função de não possuírem uma distribuição de massa molar específica, os polímeros sintéticos são considerados materiais e não substâncias¹ na acepção original do termo. No caso de biopolímeros como o DNA, a distribuição de massa molar específica é muito importante. Por exemplo, o ser humano possui 23 pares de cromossomos, ou seja, 23 pares de cadeias poliméricas de DNA de tamanho específico, sendo que variações de tamanho ou na sequência de nucleotídeos, podem ser prejudiciais e resultar em doenças genéticas.

Nesse contexto, a abordagem do DNA como biopolímero implica na integração da descrição de sua atividade biológica por meio do código genético e da análise de sua estrutura química. Considera-se, portanto, para as finalidades deste trabalho que a definição de DNA como biopolímero é constituída das seguintes ideias:

1. O DNA é um biopolímero cuja sequência de monômeros e subsequente estrutura molecular codifica a informação genética;
2. No DNA associam-se duas cadeias poliméricas complementares, as quais adotam uma conformação molecular mais estável dentre as possíveis;
3. São fundamentais para a manutenção e utilização da informação genética as seguintes interações químicas:

¹ Substâncias são entendidas como agregados de partículas, sendo a natureza da ligação entre as partículas utilizada para explicar muitas das propriedades físicas e químicas da substância, incluindo a determinação de um estado sólido, líquido ou gasoso, a uma dada temperatura e pressão (NAHUM et al., 2004).

3.1. Intramoleculares na mesma cadeia polimérica (interações de empilhamento de bases nitrogenadas);

3.2. Intermoleculares entre cadeias poliméricas complementares (ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas complementares AT e CG).

3.3. Interações entre o DNA e o meio aquoso da célula.

1.3 Questões de Ensino e Aprendizagem

A integração entre a química e a biologia não é trivial, o que resulta em algumas questões de ensino e aprendizagem, as quais podem ser consideradas um entrave ao entendimento das aplicações e do papel científico do DNA. Mais do que não trivial, a abordagem química do fenômeno biológico não é comum em disciplinas nos níveis de graduação e pós-graduação dos cursos de ciências da vida, cultura que, na realidade, se inicia no ensino médio. Neste trabalho, admite-se que as causas para evidente contradição se encerram em um conjunto de fatores referentes aos âmbitos: disciplinar, curricular, metodológico e dos recursos didáticos.

No âmbito disciplinar, considera-se as dificuldades de ensino e aprendizagem próprias da Química, as quais são resultantes de conhecimentos prévios baseados na intuição e no conhecimento popular, de uma formação inadequada no ensino médio, além do desafio de entender a linguagem química que possui múltiplas representações para seus fenômenos (TREAGUST et al., 2000).

Em especial sobre o tema DNA, considera-se as dificuldades inerentes ao ensino e a aprendizagem de polímeros. Estas podem ser consideradas mais complexas que aquelas relacionadas à compreensão de conceitos envolvendo substâncias de moléculas menores, como por exemplo a água e o gás carbônico.

Os polímeros são considerados pelos professores um tema difícil de ensinar, conforme reportado por QUADROS et al. (2011) que entrevistaram 79 professores de química de ensino médio de Minas Gerais. Alguns docentes relataram que reconhecem as possibilidades de contextualização e interdisciplinaridade do tópico, mas ressaltaram a falta de material didático, tais quais vídeos educacionais, que abordem o conteúdo, além de dificuldades de explicar os conceitos químicos envolvidos na compreensão de uma macromolécula.

Assim como no caso de outros conceitos químicos, as dificuldades de ensino e aprendizagem do conceito de polímeros adentram o ensino superior. Contudo, embora a importância do conceito seja reconhecida, na maior parte dos cursos de química e áreas afins, o conceito é tratado de forma marginal. Assim, é comum que seja abordado diretamente apenas como um item nas disciplinas de química orgânica. Existem poucas exceções, como a Universidade de Concepción no Chile, a qual possui o departamento de Polímeros que é dedicado à pesquisa e ao ensino da ciência dos polímeros (FLORES-MORALES et al., 2017).

No âmbito curricular, ressalta-se que, tanto no ensino médio, quanto superior, o tratamento estanque de conceitos químicos e biológicos relacionados ao DNA, e a pouca ou nenhuma exploração de abordagens interdisciplinares para o tema.

Em geral, no ensino médio, o DNA é um tema circunscrito ao currículo de biologia, o que pode ser observado pela análise dos três seguintes documentos:

1. Prova do ENEM de 2017 (Figura 1) que apresentou apenas a questão 132 com tema relativo ao DNA, mais especificamente sobre a reação em cadeia da polimerase (PCR). A questão requisita qual dos 5 segmentos de dupla hélice, teoricamente, desnaturaria primeiro em uma reação de PCR. O enunciado possui uma abordagem interdisciplinar muito superficial e, inclusive, apresenta um conceito incompleto sobre a estabilidade da dupla hélice e, por consequência, inapropriadamente formulado, conforme a frase: "A dupla hélice é estabilizada por ligações de hidrogênio, duas entre as bases adenina (A) e timina (T) e três entre as bases guanina (G) e citosina (C)". Essa afirmação subentende que apenas as ligações de hidrogênio estabilizam a dupla hélice, sendo excluída a importância das interações de empilhamento de bases nitrogenadas, assim como a importância do meio aquoso e os cátions que interagem com o esqueleto fosfodiéster na estabilização da repulsão entre as cargas negativas dos grupos fosfatos.

QUESTÃO 132

A reação em cadeia da polimerase (PCR, na sigla em inglês) é uma técnica de biologia molecular que permite replicação *in vitro* do DNA de forma rápida. Essa técnica surgiu na década de 1980 e permitiu avanços científicos em todas as áreas de investigação genômica. A dupla hélice é estabilizada por ligações hidrogênio, duas entre as bases adenina (A) e timina (T) e três entre as bases guanina (G) e citosina (C). Inicialmente, para que o DNA possa ser replicado, a dupla hélice precisa ser totalmente desnaturada (desenrolada) pelo aumento da temperatura, quando são desfeitas as ligações hidrogênio entre as diferentes bases nitrogenadas.

Qual dos segmentos de DNA será o primeiro a desnaturar totalmente durante o aumento da temperatura na reação de PCR?

Figura 1: Questão 132 da prova do ENEM 2017. (Fonte: Site do INEP, caderno de prova amarelo, p. 15. Acesso 21/12/2018).

2. Prova do ENEM de 2018 que apresentou duas questões sobre o DNA, porém ambas relacionadas apenas à biologia e sem interdisciplinaridade com a química.

3. Livro de Química do 3º ano da coleção Ser Protagonista (2017), editor Murilo Tissoni Antunes, o qual é distribuído pelo Governo Federal para as escolas públicas. O material didático se restringe a abordar os polímeros sintéticos e três classes de biopolímeros (carboidratos, lipídeos e proteínas), sem sequer menção ao DNA.

A segregação entre o químico e o biológico resulta da tentativa de simplificar a complexidade química e estrutural do DNA por meio do uso pronunciado de subterfúgios analógicos como tentativa de facilitar o ensino e aprendizagem da biomolécula. Alguns exemplos são a descrição da informação genética apenas por meio de um código de letras referentes às bases nitrogenadas ATCG ou a representação da estrutura molecular por meio de formas geométricas, sendo a base nitrogenada um retângulo, a ribose um pentágono e o grupo fosfato um círculo.

FERREIRA e JUSTI (2004) analisaram o conteúdo sobre DNA em sete dos livros de Biologia e Química mais utilizados no Ensino Médio nas redes pública e privada em Belo Horizonte, Minas Gerais. Os autores encontraram modelos de DNA em desacordo com o conhecimento científico, como uma representação da dupla hélice do DNA que utiliza figuras geométricas como analogia para representar a desoxirribose e as bases nitrogenadas, porém o pentágono preto referente à base nitrogenada encontra-se externo à fita laranja que é representativa do esqueleto fosfodiéster, o qual é referente ao grupo fosfato e à desoxirribose (Figura 2a). Além disso, também foram encontrados erros conceituais, como a representação da desoxirribose em que dois átomos de carbono estão realizando apenas 3 ligações covalentes (Figura 2b).

Figura 2: A. Dupla hélice do DNA. B. Desoxirribose. (Fonte: FERREIRA e JUSTI, 2004)

Os autores FERREIRA E JUSTI (2004) também apontam que o tema DNA é abordado de forma bastante breve e em momentos curriculares diferentes nas disciplinas de química e biologia:

O ensino do DNA ocorre de forma desvinculada e, muitas vezes, incoerente nas duas disciplinas, não contribuindo para que os alunos entendam e desenvolvam uma visão crítica em relação a temas relativos à engenharia genética bastante enfatizados pela mídia ultimamente.

FERREIRA e JUSTI (2004), p. 1.

Assim como no caso de outros conteúdos alocados nas chamadas ciências da vida, o descompasso curricular das disciplinas de química e biologia agrava os

problemas de ensino e aprendizagem sobre o DNA, tal qual evidenciado em estudos com alunos de ensino médio de escolas públicas e privadas. De fato, em seu trabalho de revisão, MOURA et al. (2013) evidenciaram que diversos autores retratam as dificuldades dos estudantes na compreensão de conceitos básicos de biologia molecular e genética, tais como DNA, ácidos nucleicos, clone, transgênico, terapia gênica e células-tronco, associados ao descompasso curricular. Os problemas de ensino e aprendizagem estão claramente associados a uma integração superficial dos conhecimentos químicos necessários para entender a estrutura e a estabilidade do DNA.

Ao transpormos essa questão para o ensino superior, nota-se a replicação do cenário de fragmentação entre o químico e o biológico, o que pode, inclusive, ocasionar a formulação de conceitos errôneos do ponto de vista científico. Com efeito, SILVA et al. (2014) avaliaram a compreensão dos conceitos de gene e DNA de discentes cursando a disciplina de Biologia Molecular, referentes aos cursos de graduação em Ciências Biológicas, Biomedicina, Biotecnologia e Farmácia, da UNIFAL-MG. Foi demonstrado que os alunos apresentavam deficiência na aprendizagem dos conceitos, provavelmente por consequência de falhas no processo de ensino-aprendizagem anteriores ao ingresso na universidade. Conforme os autores:

A análise dos dados permitiu identificar que, para a maioria dos participantes deste estudo, gene é um “pedaço” de DNA responsável pelas características individuais como cor do cabelo e dos olhos. Em relação ao DNA, as respostas foram mais variadas e conceitos errôneos tais como, ser constituído por proteínas, por ácidos nucleicos, por ácido desoxirribonucleico, possuir estrutura circular, são alguns exemplos de respostas obtidas.

SILVA et al. (2014), p. 7.

Além da formulação de conceitos errados, a abordagem não interdisciplinar pode ocasionar a formulação de concepções alternativas². Um estudo realizado por BOGNER e LANGHEINRICH (2015) utilizou a estratégia de escrita e desenho³ para avaliar as concepções alternativas dos estudantes sobre a estrutura do DNA, considerando os três níveis de organização da molécula. As concepções foram verificadas antes e após a realização de uma atividade em sala de aula com um recurso computacional que apresenta explicações conceituais e a estrutura tridimensional do DNA. A comparação dos desenhos realizados pelos estudantes, antes e após a atividade, possibilitou verificar que houve melhoria no nível de entendimento conceitual nos três níveis de organização molecular, sendo que 2/3 dos estudantes foram capazes de desenhar uma dupla hélice salientando os nucleotídeos e as ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas.

Outro estudo que avalia concepções alternativas dos estudantes sobre os conteúdos de Biologia, realizado por QUELOZ et al. (2017), utilizou um questionário de múltipla escolha denominado Biological Concepts Instrument (BCI)⁴ (Instrumento

² Concepções alternativas são definidas como concepções do indivíduo na educação em ciências que não estão de acordo com o conhecimento científico (BOGNER e LANGHEINRICH, 2015). Em geral, essas concepções são difíceis de alterar, mesmo quando são utilizadas intervenções que objetivam modificá-las de forma direta. Dessa forma, outra definição consiste em uma explicação persistente, ingênua ou incompleta, de conceitos científicos que é compartilhada por vários estudantes (QUELOZ et al, 2017). Em parte, são persistentes como consequência de suas fontes: i. os professores e livros-texto que usam termos inaccurados ou explicações que possibilitem variações de interpretação, estando comumente associadas ao uso de analogias inapropriadas; ii. as dificuldades dos estudantes em administrar e inter-relacionar diversas formas de representação de um mesmo fenômeno; iii. as dificuldades dos alunos em entender o significado científico de termos usados no dia-a-dia (BOGNER e LANGHEINRICH, 2015).

³ Draw and write (Desenho e escrita) é definido como um método de pesquisa baseado em imagens, o qual expande o poder de avaliação dos testes que usam apenas desenhos, pois existe a possibilidade de adicionar textos e descrições às imagens produzidas pelos estudantes. Dessa forma, a articulação dessas duas ferramentas possibilita uma melhor expressão pelo aluno de seus conhecimentos (BOGNER e LANGHEINRICH, 2015).

⁴ Biological Concepts Instrument - BCI (Instrumento de conceitos biológicos) é um questionário utilizada para circunscrever várias estratégias de teste por meio da utilização da própria linguagem dos estudantes e concepções alternativas. São construídos com base na análise do pensamento do

de Conceitos Biológicos). O instrumento possui 24 questões sobre os seguintes tópicos: evolução, propriedades e funções das moléculas, genética, energia e interações químicas. Na sessão de propriedades e funções de moléculas, foi perguntado aos alunos “O que faz o DNA um bom lugar para armazenar informação?”, e a maioria selecionou a alternativa incorreta: “As bases sempre se ligam ao par correto”. Apenas alguns estudantes assinalaram a resposta correta, “A sequência de bases não influencia grandemente a estrutura da molécula”. Essa afirmação abrange um entendimento conceitual sobre a relação entre a estrutura e estabilidade da dupla hélice, o que é central para o armazenamento de informação no DNA e o distingue do RNA e de proteínas.

O conceito de pareamento de bases foi requisitado em outra questão “O que sobre os ácidos nucléicos faz a cópia da informação genética ser acurada?”, sendo que a maioria dos estudantes selecionou a resposta correta, “As bases se ligam de forma específica”, o que sugere uma boa compreensão sobre o padrão de complementariedade de bases na estrutura do DNA e, até uma extrapolação da importância do pareamento de bases para a viabilidade do DNA em armazenar a informação genética, estabelecendo um conceito alternativo. Segundo QUELOZ et al (2017):

“Os estudantes possuem falta de entendimento das propriedades físico químicas das moléculas ou têm problemas em aplicar o conhecimento das disciplinas de física e química nos processos biológicos”.

QUELOZ et al. (2017)

Nesse sentido, as concepções alternativas dos estudantes em Biologia Molecular estão intrinsicamente relacionadas às aquelas da química e, considerando a sua influência na aprendizagem, podem ser um grande problema. NAHUM et al., (2004), conduziram uma pesquisa para avaliar os conceitos alternativos associados com estrutura e ligação química, os quais são essenciais para a compreensão de diversos conceitos em química, como biomoléculas. Os autores categorizaram as respostas dos alunos durante 12 anos no Exame Nacional de Matrícula em Química de Israel. Uma das categorias de conceito alternativo utilizada no estudo é baseada na não compreensão de conceitos de eletronegatividade, eletroafinidade, ionização e polaridade, o que é representado pela seguinte afirmação de um estudante: i. “Um composto iônico com alta eletronegatividade tem maior temperatura de fusão”.

A importância desses conceitos é ainda maior para a compreensão de estruturas moleculares maiores e mais complexas como os biopolímeros, visto que existe um maior número e uma maior variação de interações químicas acontecendo. Nesse contexto, é fundamental que os professores saibam quais concepções alternativas seus alunos possuem, no intuito de ensinar de forma adequada e favorecer a aprendizagem do conteúdo. Para tal, é fundamental que os docentes conversem com os alunos a respeito das dificuldades conceituais, o que permitirá evidenciar as concepções cientificamente errôneas e as alternativas. Além disso, também podem recorrer à literatura e verificar quais são as concepções mais comuns do tema em questão. No entanto, existe um problema que é a existência de poucas pesquisas de conceitos alternativos relacionados a alguns tópicos, por exemplo, sobre o DNA. Dessa forma, uma outra possibilidade é realizar avaliações diagnósticas que ressaltem as concepções alternativas dos alunos por meio de

metodologias como a escrita e o desenho, além do uso dos questionários de múltipla escolha.

Portanto, nesse contexto, considera-se que a compreensão do DNA e de sua atividade biológica prescinde de uma abordagem do DNA como biopolímero. Isto requer um esforço para conceber abordagens interdisciplinares entre as ciências Química e Biológica, iniciando-se no Ensino Médio e estendendo-se ao Ensino Superior. Além disso, também requer o uso de metodologias que possibilitem salientar e trabalhar concepções alternativas dos estudantes relativas ao tema DNA como biopolímero.

No âmbito metodológico, considera-se o fato de que a maioria dos cursos de graduação ainda privilegiam abordagens exclusivamente expositivas, comumente associadas às avaliações somativas⁵ em que se contempla, em grande medida, a memorização de informação e a resolução algorítmica de problemas (ZOLLER, 2002).

Esta abordagem não favorece a explicitação e encaminhamento de conceitos prévios não científicos ou alternativos, tais quais os mencionados anteriormente. Além disso, não possibilita o exame dos problemas de ensino e aprendizagem relacionados à pouca integração curricular e ao uso inapropriado de analogias (QUELOZ et al., 2017).

⁵ A avaliação somativa é utilizada de modo a apenas registrar, reportar e descrever o que o aluno é capaz de fazer num certo momento, a fim de hierarquizar e certificar-se quanto ao desempenho formal. Avalia sumariamente o conhecimento de fatos, capacidade de memorização e atenção (ZOLLER, 2002).

Em contraponto ao modelo de ensino baseado em exposição/memorização, há centros universitários que adotam avaliações formativas⁶ associadas com propostas integradas de aprendizado. Este é o caso da abordagem curricular de Aprendizagem Baseada em Problemas (Problem Based Learning - PBL), adotada, por exemplo, no ensino das ciências da saúde na Faculdade de Medicina de Marília (FAMEMA)⁷.

O PBL é uma forma de favorecer a integração interdisciplinar, a junção de aspectos teóricos e práticos, com ênfase no pensamento crítico e na criatividade do estudante. É uma abordagem centrada na resolução de problemas baseados na vida real, ou seja, temáticos, seguindo três passos: iniciar a aprendizagem com um problema, resolver o problema de forma interdisciplinar e trabalhar de forma colaborativa com os colegas de classe, sendo o professor um auxiliar durante o processo. No intuito de resolver o problema, os estudantes devem se perguntar o que sabem a respeito do assunto, quais os termos e conteúdos são desconhecidos e qual a melhor forma de aprender sobre eles (ZHOU, 2017).

Outro exemplo de estratégia de ensino distinta da aula expositiva tradicional é a adotada por SILVA et al. (2014) que realizaram, após a análise das dificuldades de aprendizagem dos estudantes sobre os conceitos de gene e DNA, uma intervenção pedagógica por meio da dramatização (teatro), tendo sido verificado o ganho de conhecimento e a melhora do desempenho escolar dos alunos.

Uma estratégia de ensino e aprendizagem mais comum em Bioquímica e Biologia Molecular é o uso do experimento didático. COIMBRA et al. (2004),

⁶ A avaliação formativa tem como objetivo fornecer evidência fundamentada e sustentada, no intuito de agir para apoiar o aluno na sua aprendizagem. Tem, assim, uma dimensão pedagógica.

⁷ Faculdade de Medicina de Marília (FAMEMA) aplica o método PBL, conforme notícia publicada em http://www.famema.br/noticias/conteudo.php?seq_publicacao=3496 (acesso 06/02/2018).

utilizaram o Ensaio do Cometa (Comet Assay)⁸ com os alunos do curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática / PPGECIM – ULBRA. O ensaio do Cometa permite avaliar a lesão e posterior reparo do DNA das células, de forma que foram abordados conceitos sobre estrutura e funcionamento do DNA, além de lesão e reparo do DNA. Os resultados indicaram uma evolução conceitual do nível de entendimento sobre o tema. Porém, com relação ao aprendizado da estrutura e função do DNA, não houve uma melhora substancial, possivelmente por não terem sido utilizadas representações em nível molecular do fenômeno, sendo que as dificuldades de aprendizagem da estrutura do DNA e de outras biomoléculas, são em parte decorrentes da própria natureza abstrata desses conceitos, os quais pertencem ao nível submicroscópico e intangível aos sentidos (JANN e LEITE, 2010; MNGUNI et al. 2016).

No âmbito dos recursos didáticos, a abordagem do DNA como biopolímero pressupõe que sejam representados elementos estruturais tridimensionais da molécula de DNA de tal forma que seja possível relacionar as diferentes interações químicas com sua atividade biológica.

No caso dos livros didáticos e das apresentações de slides digitais, observa-se a predominância de representações estáticas e visualmente complexas ou que fazem analogias inapropriadas (em geral, os vídeos representam o DNA como fitas, isto é, “linhas” que não possibilitam evidenciar a estrutura molecular do mesmo).

⁸ O ensaio do cometa (Comet Assay) é usado para detectar danos no DNA causados por quebras de fita dupla, quebras de fita simples, dentre outras lesões. Também pode ser utilizado para monitorar o reparo do DNA em células vivas (OLIVE e BANÁTH, 2006).

Existem abordagens que saem do padrão de aula expositiva baseadas em livros-texto e projeções de figuras em *slides*, as quais são estratégias valiosas de aprendizagem, porém, em geral, são centradas no uso de papel e por vezes retratam os componentes dos nucleotídeos como formas geométricas, semelhante às apresentadas na figura 3.

Figura 3: Representações da dupla hélice do DNA por meio de figuras geométricas. (Fonte: Autores **A.** JANN e LEITE, 2010; **B.** FONTENELLE e CAMPOS, 2017; **C.** PADILHA e PERREIRA, 2008).

Representações do DNA, semelhantes à da figura 3, podem ser muito úteis, uma vez que são simplificações no intuito de buscar adequação ao público alvo. Porém, possuem restrições na abordagem da estrutura molecular, a medida que só está transladando entre estruturas bidimensionais e, como consequência, existe uma maior dificuldade dos estudantes de compreenderem que tais biomoléculas são moléculas químicas, ou seja, biopolímeros. Isso porque o entendimento do DNA como biopolímero requer o uso de estratégias que favoreçam a compreensão das interações químicas entre os monômeros e entre os monômeros com o meio aquoso da célula. Além de noções de ângulo, rotação da hélice e profundidade de fendas, as quais extrapolam a capacidade do uso de analogias com figuras geométricas e até o uso do meio estático e não interativo dos livros-texto, os quais, por mais bem ilustrados, detalhados e coloridos, sofrem com as limitações de suas duas dimensões.

Uma outra possibilidade de recurso didático seria o uso de modelos físicos de moléculas tridimensionais, como a desenvolvida por Watson e Crick na elucidação da estrutura da dupla hélice do DNA (Figura 4).

Figura 4: Modelo da dupla hélice do DNA de Watson (à esquerda) e Crick em 1953. (Fonte: MENEGHINI, 2003)

Modelos físicos de DNA também são usados para atrair a atenção dos estudantes por meio da manipulação e compreensão de conceitos, tais como, dupla hélice do DNA, empilhamento e pareamento de bases. No entanto, também existem algumas limitações óbvias dos modelos físicos como o alto custo e a disponibilidade limitada, além do fato de que alguns aspectos da estrutura molecular não podem ser tão bem elaborados por meio de modelos físicos tais como a acessibilidade das fendas maior e menor do DNA.

Nesse contexto, uma alternativa potencial é o uso de recurso didático baseado em ferramentas computacionais de visualização da estrutura molecular que possibilitam ao aprendiz interagir e manipular a molécula, evidenciando características estruturais das mesmas por meio do uso de diferentes modos de representação tridimensional (3D), tais como bola-e-bastão (Figura 5), superfície

molecular, volume atômico, cartões ou fitas. Além disso, possibilitar rotacionar, translacionar e aproximar para salientar elementos estruturais da molécula.

Figura 5: Representação tridimensional do DNA no modelo bola-e-bastão. (Fonte: Tutorial Estrutura e Estabilidade do DNA)

Com efeito, WHITE et al. (2002) reportaram que o uso de modelos moleculares computacionais para a visualização da estrutura de biopolímeros em sala de aula contribui para aprendizagem de conceitos sobre a natureza tridimensional de proteínas e sobre a relação entre gene e proteína. LANGHEINRICH e BOGNER (2015) também utilizaram recursos de visualização computacional 3D de biomoléculas, porém para abordar os conceitos errados do ponto de vista científico e os conceitos alternativos apresentados pelos estudantes sobre o DNA, em um viés de organização estrutural primária e secundária da biomolécula. Para tal, os autores realizaram um pré-teste seguido da utilização da unidade de ensino com visualização 3D e um pós-teste, nos quais os estudantes foram requisitados a desenhar modelos estruturais da dupla hélice do DNA. Comparando os desenhos antes e após utilizar o recurso didático, os autores concluíram que a associação do recurso tecnológico com a estratégia de desenhar e escrever sobre a molécula foi muito eficiente, tanto para auxiliar os professores a

conhecer quais são os conhecimentos alternativos e errôneos dos estudantes, quanto para modificar os mesmos.

No entanto, mesmo com os efeitos positivos na aprendizagem por meio da integração de visualização molecular 3D como estratégia de ensino interativa, a maioria dos cursos de biologia molecular e bioquímica privilegiam abordagens estáticas de estruturas moleculares mostrando ao aprendiz figuras provenientes de livros didáticos. Isto se deve, em parte, à existência de poucos materiais didáticos que utilizam visualizadores de estrutura molecular para o ensino de biomoléculas.

SILVEIRA e ROCHA (2016) avaliaram as estratégias didáticas (distintas das aulas expositivas) utilizadas no Brasil para o ensino de Bioquímica entre 2004 e 2015, evidenciando a predominância de atividades experimentais. Dentre os materiais avaliados, nenhum utiliza um *software* de visualização tridimensional de moléculas para possibilitar ao aprendiz interagir e manipular a estrutura tridimensional (3D) no intuito de favorecer a aprendizagem sobre a natureza tridimensional e dinâmica das biomoléculas.

Embora existam poucos recursos didáticos, existem dois *sites* que possibilitam a visualização de estrutura 3D de moléculas: i. Protein Data Bank (PDB)⁹ e ii. Protopedia¹⁰, o qual, inclusive, possibilita aos educadores desenvolver e compartilhar seus recursos de autoria no site, associando texto e visualização de moléculas 3D (HERRÁEZ e COSTA, 2013). No entanto, é importante salientar que os conteúdos dos *sites* estão em inglês, o que é uma restrição para boa parte dos estudantes de ensino médio e graduação no Brasil, considerando que apenas 10% dos jovens entre 18 e 24 anos afirmam saber o idioma (BRITISH COUNCIL, 2014).

⁹ Site PDB - Banco de dados de proteínas (<http://pdb101.rcsb.org/motm/91>) (Acesso 21/12/18)

¹⁰ Site Protopedia (http://protopedia.org/wiki/index.php/Main_Page). (Acesso 21/12/18)

Outra questão a ser considerada é que saber o idioma não significa, necessariamente, ter domínio suficiente para compreensão de textos acadêmicos, com os quais os estudantes apresentam dificuldades de aprendizagem em sua própria língua nativa.

O site do PDB apresenta o conteúdo sobre o DNA em duas páginas: i. Molecular Machinery: a tour of the protein data bank (Máquina Molecular: uma volta no banco de dados de proteína - <http://mm.rcsb.org/>) e ii. Molecule of the Month (Molécula do mês). A página Maquinaria da célula apresenta a estrutura 3D do DNA, porém não possui textos explicativos sobre a estrutura e estabilidade do DNA ou mesmo animações, possibilitando ao aprendiz apenas variar o modo de representação (exemplo: *sphere* – volume atômico e *ball and stick* – bola-e-bastão), dar *zoom* (aumentar o tamanho) e rotacionar a molécula, conforme a figura 6.

Figura 6: Conteúdo da página Molecular Machinery: a tour of the protein data bank. (Fonte: PDB, Acesso 21/12/18)

O site PDB possui outro recurso didático intitulado “Molécula do Mês”, o qual possui texto explicativo sobre o DNA associado com figuras. Um exemplo de conteúdo é a associação de uma imagem com uma representação externa do DNA que mostra os grupos químicos expostos na fenda menor e maior associada ao texto explicativo intitulado informação molecular do DNA, conforme a figura 7. Porém, por mais bem diagramado que seja a representação externa, a bidimensionalidade culmina em restrições para explicação de conceitos que requerem entendimento espacial, por exemplo a disponibilidade estérica dos grupos químicos das bases nitrogenadas expostos nas fendas maior e menor. Assim sendo, o site do PDB não possui um recurso didático que explore a interatividade da visualização 3D associado com outras mídias, como texto e figura.

Figura 7: Conteúdo da página Molécula do mês do PDB. (Fonte: PDB, acesso 21/12/18)

Por outro lado, o site Protopedia apresenta o conteúdo de DNA por meio da associação de textos explicativos e visualização tridimensional, conforme a figura 8.

DNA

This page, as it appeared on August 20, 2011^[6], was featured in this article^[7] in the journal *Biochemistry and Molecular Biology Education*.

Deoxyribonucleic acid or DNA is a molecule which is the carrier of genetic information in nearly all the living organisms. It contains the biological instructions for the development, survival and reproduction of organisms. DNA is found in the nucleus of a cell where it is packaged into a compact form called a chromosome with the help of several proteins known as histones. It is also found in cell structures called mitochondria. However in case of prokaryotes DNA is not enclosed in a nucleus or a membrane but is present in the cytoplasm. The DNA in prokaryotes is generally circular and supercoiled without any histones. DNA stores genetic information as a sequence of nucleotides in special regions known as genes which are used to make proteins. The expression of genetic information into proteins is a two-stage process wherein the sequence of nucleotides in DNA is converted to a molecule called Ribonucleic acid or RNA by a process called **transcription**. RNA is used to make proteins by another process called **translation**. The human genome contains nearly $3 \cdot 10^9$ bases with around 20,000 genes on 23 chromosomes.^[1]

DNA was first discovered by the German biochemist Frederick Miescher in the year 1869.^[2] Based on the works of Erwin Chargaff, James Watson, Francis Crick, Maurice Wilkins and Rosalind Franklin, the structure of DNA was discovered in the year 1953. The structure of DNA is a **double helix**: two complementary strands of polynucleotides that run in opposite directions and are held together by hydrogen bonds between them.^[3] This structure helps the DNA replicate itself during cell division and also for a single strand to serve as template during transcription.^[1]

[Restore View](#)

Contents [\[hide\]](#)

- 1 Features of a DNA Molecule
 - 1.1 Double Helix
 - 1.2 Complementary Bases
 - 1.3 DNA denaturation and renaturation
 - 1.4 Grooves
- 2 Biological Functions
 - 2.1 Replication
 - 2.2 Transcription and Translation
- 3 Forms of DNA

B-DNA
[Export Animated Image](#)

Figura 8: Conteúdo sobre o DNA do Protopedia. (Fonte: Protopedia, acesso: 21/12/18)

No entanto, a análise do recurso didático evidencia três limitações: i. explora apenas a estrutura básica da molécula e não possuem um viés do DNA como biopolímero, ou seja, sem explicações refinadas sobre as interações químicas que determinam a estrutura e a estabilidade da biomolécula, as quais são fundamentais para a compreensão dos fenômenos biológicos nos quais o DNA está envolvido; ii. as animações são pouco refinadas e sem legendas indicando apropriadamente os elementos estruturais do DNA; e iii. as transições entre os diferentes modos de representação molecular são bruscas e sem indicação de qual modo está sendo apresentado e para qual modo se está trocando, por exemplo: DNA em modelo de fita transicionando para DNA em modelo de bola-e-bastão.

Considerando que as transições entre diferentes representações externas são cognitivamente desafiadoras para os estudantes (SCHÖNBORN e ANDERSON, 2006), a realização de mudança brusca de modo 3D poderia dificultar as associações entre as similaridades e as diferenças de cada modo 3D e até mesmo a compreensão de que se trata da mesma estrutura molecular em diferentes formas de representação.

Nesse sentido, verifica-se que são raros os recursos didáticos que exploram a interatividade ao visualizar estrutura 3D de moléculas como facilitador do ensino e aprendizagem de conceitos de Química, Bioquímica e Biologia Molecular, explorando a molécula no máximo por meio da integração com outras formas de representação da informação textos e figuras, intimamente conectadas. Segundo Kozma e Russel (2015), quando os estudantes interagem com figuras (animações) e palavras simultaneamente é mais provável que eles aprendam conceitos difíceis, além de reter esses por mais tempo e usá-los para resolver problemas.

CARDOSO et al. (2011) analisaram a interatividade da representação tridimensional de moléculas presentes em noventa e sete páginas da Internet pertencentes a instituições localizadas nos Estados Unidos da América, França e Brasil. Dentre as páginas, apenas cinco são brasileiras e quatro pertencem a universidades, sendo duas relacionadas a conteúdo de Química e duas de Bioquímica. Além disso, cinquenta não apresentam interatividade limitando-se a apenas exibir a molécula e a possibilitar a mudança de modo de visualização de representação 3D¹¹, enquanto quarenta e uma apresentam a molécula isoladamente, sem qualquer texto que explique sua estrutura e aplicações. O estudo indicou que é necessário aumentar a oferta de sites que contemplem a interatividade da molécula com seu entorno textual, sendo que apenas cinco dentro todos os sites foram considerados apropriados do ponto de vista de exploração da estrutura tridimensional.

¹¹ Cada modo de visualização de representação 3D apresenta potencialidades para explicar um determinado conjunto de conceitos e princípios, assim como restrições, não sendo qualquer representação adequada para explicar qualquer conceito. Dessa forma, visualizar a mesma estrutura em diferentes modos de representação molecular é fundamental para a aprendizagem.

Um dos recursos didáticos destacados por Cardoso et al. (2011) como de acordo com os princípios educacionais de desenvolvimento de objetos de aprendizagem, é o Tutorial sobre Estrutura de Proteínas, dos autores Noboru Jo Sakabe, Guilherme Marson e Bayardo Baptista¹². O tutorial integra a estrutura tridimensional das moléculas com seu entorno textual, ou seja, figuras, textos e outros tipos de mídias auxiliares, facilitando a aprendizagem de conceitos relacionados, conforme figura 9 que mostra a interface com integração entre o texto, a representação tridimensional de uma proteína de membrana e um esquema da proteína imersa na bicamada lipídica.

Figura 9: Associação de animação de estrutura de moléculas 3D com animações em flash e textos explicativos. (Fonte: Tutorial sobre Estrutura de Proteínas, autores Noboru Jo Sakabe, Guilherme Marson e Bayardo Baptista, acesso 21/12/18)

O uso de um Tutorial como ferramenta para ensino de estrutura molecular é promissor, visto que permite que ícones presentes no texto ou em diagramas explicativos do processo, direcionem o aluno para manipulação das biomoléculas envolvidas. Dessa forma, facilita a integração do conhecimento produzido pela manipulação de estruturas tridimensionais com o fornecido pelas demais formas de

¹² Tutorial sobre Estrutura de Proteínas dos autores Noboru Jo Sakabe, Guilherme Marson e Bayardo Baptista (<http://www.iq.usp.br/bayardo/software/proteina/menu/mainMenu.html>). (Acesso 21/12/18)

explicação do conteúdo, por meio da apresentação simultânea das diferentes mídias na tela do computador. Com efeito, esta integração é proposta na Teoria de Aprendizagem por Multimídia desenvolvida por Richard Mayer (MAYER, 2005), um psicólogo cognitivo, cuja Teoria está dentre as que têm inspirado o desenvolvimento de muitos *softwares* e metodologias de ensino de ciências através da utilização de ferramentas visuais (TERUYA e MARSON, 2013). No entanto, não foi encontrada durante a revisão de literatura feita para este trabalho, o embasamento na Teoria de Aprendizagem por Multimídia de Mayer no delineamento de um recurso didático para explorar a estrutura do DNA, sobretudo considerando uma abordagem do DNA como biopolímero.

Nesse sentido, o DNA foi selecionado como biomolécula para exemplificar o desenvolvimento de tutoriais de moléculas em virtude das seguintes questões de ensino e aprendizagem: i. a importância do DNA para as disciplinas de Bioquímica e Biologia Molecular, considerando seu papel como repositório da informação genética da célula e a diversidade de aplicações biotecnológicas; ii. as dificuldades associadas a ensinar o DNA como biopolímero, cujas interações químicas entre monômeros e entre monômeros com meio aquoso e demais moléculas, determinam a estrutura e a estabilidade da dupla hélice do DNA e por consequência a relação entre a estrutura e a atividade biológica; iii. a existência de conceitos errôneos e concepções alternativas relacionados à compreensão da estrutura do DNA. iv. as dificuldades na compreensão da diversidade de modos de representação tridimensional do DNA.

O tutorial sobre estrutura e estabilidade do DNA com animações interativas 3D, fundamentado em princípios educacionais, apresenta as seguintes potencialidades:

- i. **No âmbito disciplinar**, selecionar o conteúdo partindo-se do pressuposto de que o elemento amalgamador da compreensão da estrutura e estabilidade do DNA é a dimensão química da biomolécula, ou seja, a abordagem do DNA como biopolímero.
- ii. **No âmbito curricular**, atuar como ferramenta interdisciplinar que conecta os campos do saber da química, biologia, bioquímica e biologia molecular.
- iii. **No âmbito metodológico**, atuar de forma complementar a aula tradicionalmente expositiva, por meio de uma atividade pedagógica que estimule a participação do aluno na construção de seu conhecimento.
- iv. **No âmbito do recurso didático**, trabalhar os desafios de ensino e aprendizagem do DNA, tanto conceituais, quanto de interpretação de representações tridimensionais do DNA incorporando princípios educacionais no desenvolvimento de animações 3D e na integração destas com outras formas de informação (texto, figura 2D, tabelas).

Portanto, no plano conceitual, será por este viés que serão caracterizadas as seguintes questões teóricas, as quais correspondem aos próximos tópicos apresentados:

- Ensino e aprendizagem por meio de representações externas.
- Ensino e aprendizagem por meio de materiais didáticos que empregam moléculas interativas 3D.
- *Software* proposto: tutorial de moléculas com animações interativas 3D.

- Princípios educacionais para o desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D.
- Proposta didática de aplicação de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D.
- Avaliação da efetividade de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D na aprendizagem do conteúdo de estrutura e estabilidade do DNA

1.4 Ensino e aprendizagem por meio de representações externas

A bioquímica é uma ciência que investiga seus fenômenos nos níveis macroscópico, microscópico e submicroscópico. Para facilitar a compreensão dos fenômenos bioquímicos utiliza-se uma linguagem visual na forma de múltiplas representações externas (RE), tais como figuras, micrografias, estruturas tridimensionais de moléculas, diagramas bidimensionais de moléculas, etc (SCHÖNBORN e ANDERSON, 2006). A partir da interpretação das RE os estudantes desenvolvem representações internas, que são construtos mentais internos ou modelos mentais, os quais retêm a essência e as relações temporais e espaciais características da representação externa (TERUYA e MARSON, 2013).

Segundo MNGUNI et al. (2016), a capacidade dos estudantes de interpretar uma representação externa depende de três fatores: i. a capacidade de raciocínio do aprendiz; ii. o conhecimento prévio dos conceitos necessários para fazer sentido da RE; e iii. o modelo no qual o conhecimento está representado externamente, isto é, qual tipo de RE está sendo empregado para o ensino e aprendizagem de determinado conteúdo. A capacidade de raciocínio do aprendiz inclui habilidades visuais, isto é, a literacia visual do aprendiz, que consiste na habilidade de ler/interpretar e escrever/criar uma RE.

A interdependência entre a literacia visual e o relevante conhecimento conceitual do estudante torna comum a existência de dificuldades de aprendizagem associadas à interpretação de RE, de forma que os estudantes comumente falham em utilizar uma RE para a adquirir sólido conhecimento conceitual (MNGUNI et al., 2016 e TOWNS et al., 2012).

Segundo SCHÖNBORN e ANDERSON (2006), a literacia visual deve ser explicitamente ensinada como um importante componente do currículo de bioquímica. Para tal, os autores formularam dez diretrizes fundamentais para favorecer o desenvolvimento de habilidades visuais. Dentre as diretrizes tem-se que os professores devem ter conhecimento de teorias sobre como os indivíduos aprendem com o uso de representações externas e também necessitam assegurar que os estudantes compreendam as convenções usadas nas representações.

Essa questão é especialmente importante porque não está claro se os estudantes compreendem a distinção entre a representação externa, por exemplo de uma molécula, e a realidade física que é a molécula de fato (TOWNS et al., 2012). Assim, em um modelo de bola-e-bastão a bola representa o átomo, mas o átomo não é de fato uma bola muito pequena, sendo esta apenas uma metáfora ou analogia.

Segundo NAHUM et al. (2004), a metáfora é provavelmente a parte mais importante do modelo para os estudantes, devendo ser muito bem explicada no intuito de evitar a formulação de concepções alternativas. Logo, é fundamental que o professor estimule a metacognição¹³ dos alunos fazendo com que se questionem sobre as limitações e as adequações de cada representação externa em codificar determinados conceitos.

Em relação ao processo cognitivo de visualização, MNGUNI (2014) propõe três etapas: internalização, conceitualização e externalização. A internalização consiste no processo em que os órgãos dos sentidos, como os olhos e ouvidos,

¹³ Metacognição se refere ao conhecimento do sujeito sobre seu processo e produtos cognitivos da aprendizagem. Quando aplicada ao visual, refere-se à construção de imagens mentais ou escritas sobre determinado tema (LOCATELLI, 2014).

trabalham em conjunto com o cérebro no intuito de absorver a informação do mundo, por exemplo das representações externas visualizadas. A conceitualização é o fazer sentido da informação e construir modelos cognitivos visuais. Nesse processo, tem-se a integração do conhecimento novo que está sendo processado na memória de curta duração com o conhecimento prévio armazenado na memória de longa duração do aprendiz. Modelos visuais do aprendiz podem ser revisados e reconstruídos durante essa integração entre o conhecimento prévio e o novo. Por fim, a externalização consiste na expressão do esquema mental, ou seja, a criação pelo estudante de uma representação externa de seu modelo mental.

A internalização é subdividida em baixo, médio e alto nível. O baixo nível indica basicamente reconhecimento visual, por exemplo a distinção entre uma célula procariota e eucariota pela presença ou ausência de organelas. Enquanto o alto nível ocorre quando há muito esforço cognitivo para internalizar a informação visual. Este estágio está interconectado com a conceitualização, pois requer o auxílio de conhecimento prévio para a internalização, ou seja, interpretação da representação visual. Nesse sentido, existem sobreposições entre os três estágios, conforme evidenciado na figura 10.

Figura 10: Ilustração da sobreposição entre os três estágios do processo cognitivo de visualização (Fonte: adaptada de MNGUNI 2014).

O processo cognitivo de visualização de representações externas do nível submicroscópico é especialmente desafiador para os estudantes em virtude do nível

de abstração e por não serem derivadas de experiências de laboratório ou demonstrações em aula (TOWNS et al. 2012). Segundo MNGUNI (2014), ensinar em tal campo do saber requer o aperfeiçoamento da arte da imaginação pelos estudantes, além do uso de representações externas formalizadas que possibilitem a uniformidade de imagens cognitivas, isto é, modelos mentais. Além disso, a compreensão de fenômenos em escala molecular requer o entendimento de conceitos químicos, tais como das forças eletrostáticas de atração e repulsão que ocorrem entre as nuvens eletrônicas dos átomos.

Cada tipo de representação externa apresenta potencialidades para explicar um determinado conjunto de conceitos e princípios e da mesma forma também possui restrições, não sendo qualquer representação adequada para explicar qualquer conceito. Dessa forma, quando é exigido do aprendiz, por exemplo, a visualização tridimensional de moléculas que estão representadas bidimensionalmente em livros didáticos, está se cobrando do estudante habilidades visuoespaciais para visualizar algo que não está explícito na representação externa (TERUYA e MARSON, 2013), considerando que o bidimensional não possibilita a concretização visual de elementos abstratos como a profundidade das fendas do DNA, diâmetro da hélice, dentre outros.

Nesse contexto, o ensino e a aprendizagem do DNA como biopolímero, assim como de demais biomoléculas, possuem essencialmente dois desafios: i. a integração entre química e biologia, ou seja, a compreensão das interações químicas que determinam a estrutura e a estabilidade do biopolímero e consequentemente sua atividade biológica, e ii. a interpretação das representações externas das moléculas. Ambos os desafios podem ser trabalhados ao escolher o

tipo adequado de representação externa da biomolécula e ao considerar o objetivo pedagógico do instrutor. Assim, para ensinar a respeito das interações químicas que determinam a estrutura tridimensional e a natureza dinâmica das biomoléculas é mais adequado usar animações interativas tridimensionais do que representações estáticas bidimensionais (SCHÖNBORN e ANDERSON, 2006). Além disso, possibilita-se o desenvolvimento subjacente da literacia visual do estudante, mesmo esta não sendo explicitamente trabalhada apenas pela visualização da estrutura molecular 3D.

1.5 Ensino e aprendizagem por meio de materiais didáticos que empregam moléculas interativas 3D

Existem diversos *softwares* livres¹⁴ e de fácil utilização para visualização de estrutura tridimensional de moléculas, tais como JSmol, Chimera e Avogadro¹⁵. Esses *softwares* permitem ao aprendiz interagir e manipular a molécula, evidenciando características estruturais das mesmas por meio do uso de diferentes modos de representação 3D, tais como bola-e-bastão, superfície molecular, volume atômico, além de possibilitar rotacionar, translacionar e aproximar para salientar elementos estruturais.

Sabe-se, contudo, que a mera exposição da estrutura molecular em três dimensões é insuficiente para favorecer a compreensão da estrutura molecular assim como dos processos biológicos no nível submicroscópico. Em suma, o desafio que se coloca não é a existência de ferramentas convenientes para a produção de

¹⁴ *Software* livre significa que os usuários possuem acesso ao código-fonte e podem realizar modificações conforme as suas necessidades de utilização, às quais podem ser disponibilizadas para outros usuários.

¹⁵ URL para os sites: JSmol (<http://jmol.sourceforge.net/>), Chimera (<https://www.cgl.ucsf.edu/chimera/>) e Avogadro (<https://avogadro.cc/>).

representações interativas da estrutura molecular, mas a utilização de tais ferramentas em recursos didáticos apropriados para a compreensão dos conceitos relacionados às representações.

De acordo com o Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer (MAYER e MORENO, 2002), as pessoas aprendem melhor a partir de palavras associadas com figuras e/ou animações do que somente a partir de palavras, de forma que a integração entre estes diferentes modos de representação da informação favorece a aprendizagem da estrutura molecular.

Nesse contexto, mais do que apenas expor a estrutura 3D, o material didático precisa explicitar as relações entre os elementos estruturais, as interações químicas e as atividades biológicas das moléculas. Para tal, o conceito de molécula necessita ser integrado por meio de representações, tais como figuras, diagramas e textos que guiem o aprendiz pela exploração da estrutura 3D (MAYER e MORENO, 2002), no intuito de favorecer o estabelecimento de novas conexões conceituais relacionadas às preexistentes.

Esse tipo de estratégia pode ser favorecida por meio de um objeto de aprendizagem, que é um componente ou unidade digital, catalogado e disponibilizado em repositórios na *Internet* que podem ser reutilizados em diferentes propostas de ensino, podendo contribuir diretamente para a aprendizagem. Uma outra definição é apresentada pelo comitê de Padrões para a Tecnologia do Instituto de Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas (Institute of Electrical and Electronic Engineers – IEEE), o qual define o objeto de aprendizagem como “Qualquer entidade, digital ou não, que pode ser usada, reutilizada ou referenciada durante o aprendizado apoiado pela tecnologia.” Dessa forma, um objeto de aprendizagem

pode ser de vários tipos, tais como: imagens, vídeos, animações, *software*, etc (BRAGA, 2014).

Em particular sobre as animações, BRAGA (2014) diz que:

[...] As animações interativas tornam-se ferramentas didáticas valiosas no auxílio daqueles alunos com alguma dificuldade de abstrair conceitos. Seu uso estimula processos cognitivos como percepção, memória, linguagem, pensamento e outros. Produzem ainda um ambiente lúdico para desenvolvimento da aula.
BRAGA (2014) p. 15

No que diz respeito ao *software*, este é classificado de acordo com seu objetivo pedagógico, podendo ser tutoriais, exercício e prática, simulador, jogo, etc (HENDRES e KAIBER, 2005). Nesse sentido, a concepção de que o *software* pode favorecer a aprendizagem se traduz na estrutura de organização do conteúdo, nos modos de representação empregados e no desenho da interatividade. Cada tipo de *software* possui peculiaridades e potencialidades visando favorecer o ensino e a aprendizagem de determinado conteúdo e conjunto de conceitos. O *software* do tipo tutorial oferece um caminho para o aprendiz, ou seja, fornece suporte para o aprendizado sequencial do conteúdo. Conforme guia o aluno por uma determinada situação, também possibilita maior controle sobre o tempo de duração da atividade e do produto da instrução (COSTA et al., 2008).

Nesse sentido, o objeto de aprendizagem do tipo tutorial pode ser desenvolvido de forma a possibilitar a manipulação guiada da molécula, sendo esta vinculada a outros tipos de representações as quais podem, em conjunto, auxiliar na aprendizagem do conhecimento relativo ao conteúdo didático de estrutura e estabilidade do DNA, com enfoque no DNA como biopolímero.

1.6 Software proposto: tutorial de moléculas com animações interativas 3D

O tutorial, objeto deste trabalho, apresenta as seguintes características gerais: i – dispõe o conteúdo em uma sequência organizada segundo a hierarquia conceitual subordinada a um determinado princípio pedagógico; ii – requer algum tipo de ação ou interação do aprendiz para avançar no conteúdo, que não seja restrita apenas a avançar ou retroceder páginas, admitindo diferentes modos de exploração; iii - inclui pontos de parada ou verificação da aprendizagem.

O tutorial possibilita o acesso ao conteúdo didático por meio de ícones, visando oferecer um ambiente interativo adequado à transmissão da informação, além de favorecer posturas mais ativas do aluno por meio do emprego de questões realizadas em conjunto com o tutorial (SHANK, 2003). Outra possibilidade é responder às questões antes e após a realização do tutorial, possibilitando fazer inferências sobre a contribuição do material didático como ferramenta estruturadora do conhecimento do aluno.

Nesse sentido, o uso de tutoriais como ferramenta de ensino e aprendizagem de estrutura molecular possibilitaria guiar os estudantes pela visualização da estrutura molecular, auxiliando-os a focar em características e relações entre elementos estruturais e as atividades biológicas da molécula, por meio da incorporação de princípios educacionais ao desenvolvimento do material didático, os quais objetivam fazer a integração entre os conceitos e as representações externas. Nesse contexto, o tutorial atua como mediador no processo de atribuição de significados às representações tridimensionais da estrutura molecular.

1.7 Princípios educacionais para o desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D

O desenvolvimento de tutoriais de moléculas será fundamentado em Princípios de Aprendizagem por Multimídia de Mayer (MAYER, 2005) para o desenho instrucional de ambiente de aprendizagem por multimídia baseado em computador. Conforme mencionado anteriormente, o princípio mais importante afirma que é melhor apresentar uma explicação por meio de palavras e figuras, do que apenas por palavras. Entende-se por palavras a linguagem verbal, que pode consistir em texto apresentado na tela do computador ou narração, enquanto as figuras são a linguagem visual, as quais podem ser imagens estáticas ou animações, como as animações tridimensionais de moléculas (MAYER e MORENO, 2002).

A Teoria de aprendizagem por Multimídia de Mayer é baseada em três pressupostos: i. existem dois canais (auditivo e visual) para processamento de informações; ii. a capacidade de processamento cognitivo da memória de trabalho do indivíduo é limitada; e iii. a aprendizagem é um processo ativo que envolve as etapas de seleção, organização e integração das informações apresentadas pelos canais auditivo e visual.

Figura 11: Teoria Cognitiva de aprendizagem Multimídia de Mayer (adaptado de MNGUNI, 2014).

A figura 11 representa o diagrama visual da teoria, se refere ao canal verbal (palavras – ouvidos – sons – modelo verbal e integração com conhecimento prévio ou palavras – olhos – imagens - modelo visual e integração com conhecimento prévio) e ao canal visual (figuras – olhos – imagens – modelo visual e integração com conhecimento prévio). Nesse sentido, segundo esta teoria, o aprendiz selecionará dentre o conteúdo as palavras e as figuras que trabalhará na sua memória de curta duração, ou seja, memória de trabalho. Em seguida, fará conexões e organizará as palavras em uma cadeia de causa e efeito produzindo um modelo mental verbal, sendo o mesmo processo realizado para as animações levando ao modelo mental visual.

Ao final, o aprendiz realiza conexões entre os modelos mentais verbal e visual, havendo interação desses com o conhecimento prévio para estabelecer um modelo integrado, que será armazenado na estrutura cognitiva do aprendiz, conforme descrito por MNGUNI (2014) em sua Teoria do Processo Cognitivo de Visualização.

Note que os dois primeiros dentre os três processos cognitivos da Teoria de MNGUNI, que consistem em internalização, conceitualização e externalização, possuem analogia com o esquema de Mayer, considerando que MNGUNI baseou-se na Teoria de Aprendizagem por Multimídia de Mayer. O processo de internalização consiste na seleção de palavras e imagens, enquanto o processo de conceitualização consiste na formação dos modelos visual e verbal na memória de curta duração e interação com o conhecimento prévios da memória de longo prazo.

Segundo MAYER e MORENO, 2002:

Para a aprendizagem significativa ocorrer, o aprendiz precisa executar cada um desses processos cognitivos, i.e., selecionar as palavras e imagens relevantes, organizá-las em correntes representações visual e verbal, e

integrar as correspondentes representações mental e visual. Essas atividades cognitivas - particularmente, a construção de conexões entre representações verbal e visual - são mais prováveis para situações em que o aprendiz pode manter representações mental e visual ao mesmo tempo na memória. Portanto, as mensagens instrucionais deverão ser desenhadas de forma a maximizar as chances para que tal crucial processo cognitivo ocorra.

MAYER e MORENO, 2002

MAYER (2005) estabeleceu 12 Princípios para Aprendizagem por Multimídia que serão utilizados na metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D, tanto na organização da estrutura do texto (conteúdo verbal) quanto nas animações e figuras (conteúdo visual). Os princípios se referem a condições do material didático a partir das quais as pessoas aprendem mais e melhor, conforme enunciados abaixo:

1. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Coerência:** excluir do material didático palavras, figuras e som externos, que não forem fundamentalmente necessários para explicar o conteúdo.
2. **Princípio de aprendizagem por Multimídia de Mayer de Sinalização:** adicionar ao material didático ferramentas que salientam a organização do material, ou seja, o que é essencial a ser aprendido.
3. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Redundância** apresentar figura e narração, e não o conjunto figura, narração e texto, simultaneamente.
4. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer da Continuidade Temporal:** palavras e figuras devem ser apresentadas simultaneamente e não sucessivamente.

5. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer da Continuidade Espacial:** palavras e figuras devem ser apresentadas próximas em vez de distantes uma da outra na página (tela).
6. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia da Segmentação de Mayer:** subdividir o conteúdo, ao invés de apresentá-lo em uma única unidade contínua.
7. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Pré-treinamento:** apresentar explicações de nomes e conceitos cujo entendimento é subjacente à compreensão do conteúdo como um todo.
8. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Modalidade:** usar narração e figuras em vez de legendas e figuras.
9. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer:** usar texto e imagens, ao invés de apenas textos.
10. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Personalização:** usar palavras em estilo de conversa (informal) em vez de estilo formal.
11. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Voz:** usar narração com voz humana em vez narração feita por computador.
12. **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Imagem:** não agrega a aprendizagem colocar a imagem do apresentador em uma apresentação multimídia.

1.8 Proposta didática de aplicação de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D

Um fator central para que um tutorial seja plenamente utilizado é o desenvolvimento de uma proposta didática que favoreça a aprendizagem. COSTA et al. (2008) estabeleceram um guia com 10 princípios básicos para Instrução Assistida por Computadores (Computer Assisted Instruction - CAI), três destes consistem em: i. maximizar a interatividade, ii. certificar-se que os estudantes entendam o escopo e os objetivos da atividade, e iii. avaliar a performance dos estudantes com o uso da CAI. Assim, os objetivos de aprendizagem devem ser claros, específicos e mensuráveis, sendo formulados por meio da utilização de verbos de ação e estabelecimento de critérios sobre a qualidade da performance exigida do aluno. Além disso, devem evidenciar os níveis cognitivos que serão desenvolvidos durante a atividade.

O desenvolvimento dos objetivos de aprendizagem pode ser substanciado pela Taxonomia de Bloom dos Objetivos Educacionais, a qual possui seis níveis em seu domínio cognitivo (conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação), os quais indicam verbos apropriados para a formulação de questões direcionadas a avaliação da aprendizagem em cada um dos seis níveis (BLOOM et. al., 1983 e FERRAZ e BELHOT, 2010). Por exemplo, o objetivo “Compreender os níveis estruturais de proteínas” é extremamente vago e não possibilita que o aluno verifique se já atingiu o esperado. Nesse sentido, tal objetivo poderia ser subdividido em sentenças mais diretas e com verbos de ação: i. Listar os quatro níveis estruturais de proteínas, ii. Descrever as interações químicas que estão envolvidas

em cada nível estrutural, iii. Predizer quais níveis de organização protéica são afetados por mudanças físicas e químicas (COSTA e HERRÁRREZ, 2013).

Com relação à interatividade, os estudantes aprendem melhor quando estão engajados em uma tarefa envolvendo um *software* computacional, se comparado com a postura de apenas assistir a aulas expositivas (COSTA et al., 2008). Nesse sentido, além de utilizar um material didático que maximize a interação do estudante com o conteúdo é importante que a proposta didática favoreça a interação entre os estudantes. CICUTO et al. (2016) relataram os efeitos positivos de um ambiente de aprendizagem ativa em uma disciplina de Bioquímica, na qual a existência de períodos de estudo e atividades em pequenos grupos (5 alunos) aumentaram a interação entre estudante-estudante e entre estudantes-professor, sendo fator motivador para os estudantes.

Os trabalhos em pequenos grupos criam oportunidades para discussão de dúvidas individuais entre os alunos e potencializam o desenvolvimento de competências transversais relevantes, como colaboração e habilidades de expressar e escutar opiniões alheias (MOREIRA e MASINI, 2006), além de estimular os estudantes a desenvolverem a capacidade de autorregular sua aprendizagem (COSTA, 2014).

1.9 Avaliação do potencial instrucional de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D

A avaliação da efetividade de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D na aprendizagem do conteúdo de estrutura e estabilidade do DNA e, em conjunto, a avaliação do potencial dos princípios de desenvolvimento de tutoriais

de moléculas e de aplicação destes com os alunos, depende de meios de registrar e analisar a aprendizagem mediada pelo recurso didático.

Para a avaliação é relevante considerar a influência do conhecimento prévio do aprendiz no aproveitamento do recurso didático baseado na visualização de estruturas interativas 3D, visto que um aluno que possui maior compreensão conceitual prévia direciona sua atenção para aspectos mais relevantes da representação externa (TERUYA e MARSON, 2013). Nesse sentido, a aplicação de um questionário conceitual antes da utilização do material didático possibilita avaliar os conhecimentos prévios do estudante, os quais podem ser comparados com o desempenho do estudante após o uso do material, por meio da resposta a um questionário de pós-teste. Esse tipo de procedimento é amplamente utilizado na pesquisa educacional em ciências.

As questões conceituais avaliativas podem ser classificadas segundo ZOLLER (2002) como requisitantes de habilidades algorítmicas, Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (HOCS) e Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS). LOCS se refere a questões de conhecimento, que requisitam apenas lembrar de informações ou a aplicação de teoria em uma situação familiar. Enquanto, as questões algorítmicas são aquelas que requerem apenas a aplicação técnica de procedimentos memorizados, de forma que a solução não necessita uma compreensão real do conteúdo (ZOLLER, 2002).

Questões que requisitam HOCS são definidas como problemas não familiares ao estudante, que requerem para solução, além de conhecimento, aplicação, análise e capacidade sintética, assim como fazer conexões e pensamento avaliativo e de metacognição por parte do solucionador (ZOLLER, 2002). Assim, segundo ZOLLER,

a aprendizagem parte do processo inicial de aquisição de um novo conhecimento, mobilizando LOCS, e pode seguir até a capacidade de criar novas soluções que requisitam Habilidades de Alta Ordem Cognitiva, HOCS.

Estabelecendo um paralelo entre BLOOM et. al. (1983) e ZOLLER (2002), questões LOCS incluem as categorias de conhecimento e compreensão, enquanto questões HOCS se refere à aplicação, análise, síntese e avaliação (LEMONS e LEMONS, 2013).

Segundo ZOLLER (2002) o maior propósito da educação em ciência é o desenvolvimento de estudantes com capacidade de resolver questões HOCS, tanto no contexto de uma disciplina específica, quanto para o desenvolvimento da capacidade do aprendiz de ser um efetivo cidadão, que possui habilidades de resolução de problemas, efetivador de decisões e pensamento crítico (ZOLLER, 2002). O meio para tal fim consiste em uma consonância entre estratégias de ensino e aprendizagem, determinação de claros objetivos de aprendizagem e avaliação, como parte integrante do processo de ensino e aprendizagem.

No entanto, a maioria das universidades têm dificuldades em ensinar e acessar habilidades HOCS (LEMONS e LEMONS, 2013), sendo dominante o ensino e a aprendizagem de habilidades algorítmico/LOCS, uma vez que a instrução em formato de aula expositiva, fundamentalmente, não favorece a aprendizagem de conceitos ao nível HOCS. Como consequência, muitos estudantes resolvem problemas de química usando apenas estratégias algorítmicas e não entendem os conceitos químicos subjacentes à resolução (ZOLLER et al., 1999).

Neste trabalho, assume-se que a aprendizagem do corpo conceitual do tema DNA como biopolímero pode ser relacionada às teorias de ZOLLER e BLOOM na seguinte medida:

1. A **compreensão** das relações conceituais entre os conceitos básicos de estrutura e estabilidade do DNA refere-se a aprendizagem em **LOCS**.

2. A **aplicação** dos conhecimentos e compreensão dos conceitos básicos para o aprendizado satisfatório dos conceitos sobre DNA como biopolímero e, por consequência, a compreensão de fenômenos bioquímicos, aos quais o DNA está envolvido, refere-se à aprendizagem em **HOCS**.

3. A integração das múltiplas dimensões representacionais dos conceitos ou, em outros termos, aprender um conceito em nível de memorização e compreensão (LOCS) não é suficiente para que o aprendiz seja capaz de realizar a transposição de linguagem entre conhecimento verbal e visual, necessária para interpretação das representações.

Decorre do exposto acima que estudantes que possuem uma compreensão fragmentada dos conceitos básicos relacionados à estrutura e estabilidade do DNA como biopolímero possuem dificuldades de entender os fenômenos bioquímicos.

Esta premissa permite organizar o processo de pesquisa para se estudar o papel do tutorial na aprendizagem. Assim, por meio da análise do desempenho de estudantes em atividades que mobilizem o elenco de conceitos relacionados ao tema DNA como biopolímero nos níveis de LOCS (nível de memória e compreensão da Taxonomia de Bloom) e HOCS (nível de aplicação da Taxonomia de Bloom), é possível fazer inferências sobre se os conceitos estão integrados e a que ponto. Tal atividade organizadora pode ser proposta como pré e pós-testes com questões

LOCS e HOCS, no intuito de avaliar a papel do tutorial baseado em representações interativas da estrutura tridimensional do DNA atuante como um facilitador da integração conceitual, promovendo a aprendizagem dos conceitos básicos de LOCS à HOCS.

Portanto, a proposição de uma metodologia para a construção de tutoriais interativos se encerra em um cenário caracterizado por: i. desenvolver um material didático que trabalhe os desafios de ensino e aprendizagem de estrutura e estabilidade do DNA (a integração entre química e biologia e a interpretação das representações externas do DNA); ii. integrar o objeto de aprendizagem em uma atividade de sala de aula que favoreça a aprendizagem e possibilite avaliar o potencial instrucional do tutorial por meio da aplicação de questionários de pré-teste e pós-teste. Nesse sentido, serão apresentadas duas diretrizes, a primeira para o desenvolvimento de tutoriais de moléculas, objetivando a aprendizagem da estrutura molecular por meio da articulação de Princípios de Multimídia de Mayer, e a segunda para o desenvolvimento da proposta didática de aplicação do tutorial. Os princípios articulados no desenvolvimento desses tutoriais podem ser utilizados no desenvolvimento de tutoriais para outras moléculas, inclusive na formulação de estudos de caso orientados por artigo científico.

2. OBJETIVOS

2.1 Desenvolvimento de uma metodologia para tutoriais de moléculas com animações interativas 3D: o caso dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

2.2 Avaliação do potencial instrucional dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA” com alunos de pós-graduação.

2.3 Avaliação do potencial instrucional do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” com alunos de graduação.

3. HIPÓTESES DE TRABALHO

3.1 É possível aplicar efetivamente o referencial da Teoria de Aprendizagem por Multimídia de Mayer no desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D.

3.2 É possível investigar o papel do tutorial pelo método de aplicação de questionários antes e após o uso do material didático, sendo as questões desenvolvidas com base nos referenciais teóricos de BLOOM et. al. (1983) e ZOLLER (2002). O estabelecimento de conexões conceituais entre o pré-teste e pós-teste pode ser feito com base na análise da aprendizagem de um *corpus* conceitual básico explicado no tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

3.3 A comparação do papel do tutorial em diferentes contextos de ensino fornece elementos importantes para investigar o papel do recurso didático na aprendizagem.

Nesse trabalho o exame das hipóteses foi realizado por meio de três estudos distintos e articulados, sendo cada um apresentado por meio de um capítulo com respectivos materiais, metodologia e conclusão, visando melhor apresentação da pesquisa.

Capítulo 1: Desenvolvimento de uma metodologia para criação de tutoriais sobre estrutura molecular baseado em animações interativas 3D e uma proposta para seu uso em sala de aula.

Capítulo 2: Avaliação do papel no ensino de pós-graduação dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

Capítulo 3: Avaliação do papel no ensino de graduação do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” com alunos de graduação.

A esta altura, é conveniente esclarecer que os tutoriais, produtos da metodologia proposta neste trabalho (“Estrutura e Estabilidade do DNA” (http://labiq.iq.usp.br/paginas_view.php?idPagina=436 e “Estabilidade do DNA” (http://moleculas.iq.usp.br/paginas_view.php?idPagina=469&idTopico=977), foram avaliados em três contextos de ensino e aprendizagem objetivando verificar a contribuição para a aprendizagem de públicos diversos, desde alunos de pós-graduação, os quais possuem conhecimento mais especializado, até um público iniciante, composto por alunos de 1º ano de graduação. A aplicação do material didático obedeceu a seguinte ordem cronológica:

- i. Atividade em sala de aula realizada por 23 alunos de pós-graduação em Bioquímica do Instituto de Química da USP, cursando a disciplina de Biologia Molecular do Gene (QBQ5710).
- ii. Atividade em sala de aula realizada por 59 alunos de graduação da USP, sendo 58 de Medicina Veterinária, 1 de Física e 1 de Ciências Farmacêuticas, todos cursando a disciplina de Biologia Molecular (QBQ-126);
- iii. Atividade extraclasse, tendo sido opcional e realizada por 26 alunos de Enfermagem cursando a disciplina de Biologia Molecular (QBQ0107).

CAPÍTULO 1: Metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas e a proposta didática de uso dos materiais em sala de aula

1.1 Métodos

Os tutoriais foram desenvolvidos com recursos da plataforma LABIQ (Laboratório Integrado de Química e Bioquímica¹⁶). O LABIQ é um projeto do Instituto de Química da USP designado à elaboração e disseminação de ferramentas educacionais e metodológicas de livre acesso voltadas para o ensino experimental de Química e Bioquímica.

A construção dos tutoriais foi dividida em duas partes, a primeira relativa ao desenvolvimento do conteúdo e a segunda relativa ao desenvolvimento da interface de acesso a esse conteúdo. A interface consiste na página web que possui a animação da estrutura tridimensional do DNA em conjunto com mídias acessórias, tais como hipertexto, tabelas e uma figura com uma representação esquemática da dupla hélice do DNA. Todos elementos da interface, como botões, texto e ícones foram construídos usando o editor de html do LABIQ.

As estruturas tridimensionais foram obtidas a partir do Banco de dados do RCSB Protein Data Bank (<http://www.rcsb.org/pdb/home/home>), sendo manipuladas por meio do editor de moléculas do LABIQ, que possui um *plug-in* de visualização de estrutura molecular JSMOL. Nos tutoriais estão presentes animações construídas a partir das seguintes estruturas tridimensionais e respectivos códigos PDB: nucleossomo (1AOI), B-DNA (1D66), A-DNA (140D), Z-DNA (2ZNA), Complexo

¹⁶ A plataforma LABIQ é fruto de um projeto institucional do IQ-USP. O portal principal pode ser acessado em <http://labiq.iq.usp.br>. Os produtos deste trabalho constam do acervo da plataforma, porém devem ser acessados em <http://moleculas.iq.usp.br>. (Acesso 20/12/2018)

entre proteína de ligação ao TATAbox e DNA (1YTB) e complexo entre proteína Gal4 e DNA (1D66).

A representação esquemática do DNA presente na seção de revisão do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”, foi adaptada utilizando o software Inkscape 0.91 a partir da figura SVG¹⁷ obtida no site wikimedia commons.

1.2 Metodologia para o desenvolvimento de tutoriais de moléculas: o caso dos tutoriais "Estrutura e Estabilidade do DNA" e "Estabilidade do DNA"

A metodologia resultou em dois materiais didáticos, os tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”¹⁸, sendo que o último consiste em uma abordagem mais detalhada das interações químicas entre monômeros e entre monômeros com meio aquoso e demais moléculas, as quais determinam a estrutura e a estabilidade da dupla hélice do DNA e por consequência a relação entre a estrutura e atividade biológica. Em suma, o tutorial “Estabilidade do DNA” consiste em um aprofundamento dos conceitos de estabilidade do DNA que são brevemente explicados no tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

No intuito de descrever a metodologia será apresentado como estudo de caso o desenvolvimento do tutorial "Estrutura e Estabilidade do DNA". Abaixo são apresentadas as cinco etapas da metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas interativas 3D:

Etapas 1: Selecionar conteúdo de Bioquímica, Biologia molecular e Química;

Etapas 2: Definir a distribuição do conteúdo em uma matriz conceitual do tutorial;

¹⁷ Figura SVG da dupla hélice do DNA possui autoria de Thomas Shafee. (https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ADNA_chemical_structure_2.svg)

¹⁸ “Estrutura e Estabilidade do DNA” (http://labiq.iq.usp.br/paginas_view.php?idPagina=436) e “Estabilidade do DNA” (http://moleculas.iq.usp.br/paginas_view.php?idPagina=469&idTopico=977).

Etapa 3: Integrar textos, diagramas, tabelas e animações moleculares 3D;

Etapa 4: Desenvolver as animações integrando diferentes modos de representação tridimensional de moléculas.

Etapa 5: Exibir simultaneamente na página web animação molecular 3D associada com texto, diagrama ou tabela.

Etapa 1: Selecionar o conteúdo de Bioquímica, Biologia Molecular e Química

A seleção de conteúdo sobre Estrutura e Estabilidade do DNA foi realizada fundamentada na abordagem do DNA como biopolímero a partir da análise de:

1. Livros didáticos (APÊNDICE A), considerando os seguintes livros de Bioquímica e Biologia Molecular:

- Princípios de Bioquímica de Lehninger, David L. Nelson e Michael M. Cox (6ª edição, 2014).
- Biologia Molecular do Gene, James Watson (7ª edição). Bibliografia recomendada na disciplina de Biologia Molecular do Gene (QBQ5710) oferecida pelo departamento de Bioquímica do Instituto de Química da USP.

2. Artigos científicos (APÊNDICE A)

A análise bibliográfica possibilitou estabelecer os conceitos fundamentais relacionados ao tema DNA como biopolímero, ou seja, o *corpus* conceitual¹⁹ do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”. O *corpus* integra a abordagem química do biopolímero de DNA no intuito de explicar a estrutura tridimensional da molécula

¹⁹ *Corpus*, em ampla acepção, é uma coletânea ou conjunto de materiais representativos de uma língua ou variante. Em pesquisa acadêmica, o *corpus* é o material a ser analisado como representativo de uma amostra, sendo que sua seleção ocorre a partir de uma certa arbitrariedade inevitável do pesquisador (BAUER e AARTS, 2002). Dessa forma, o *corpus* conceitual, neste trabalho, é entendido como o conjunto de conceitos sobre a estrutura e a estabilidade do DNA que foram selecionados como fundamentais e nucleares para a abordagem do DNA como biopolímero. Tais conceitos são representativos dos materiais (livro-texto e artigos) utilizados como bibliografia nesta pesquisa.

como determinada pelas suas ligações covalentes, interações não covalentes e interação com o meio aquoso da célula, proteínas e outras moléculas. Nesse sentido, foram estabelecidos nove conceitos considerados fundamentais na abordagem do DNA como biopolímero (Tabela 1).

Tabela 1: *Corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” fundamentado na abordagem química do biopolímero de DNA.

	Conceitos do DNA como biopolímero apresentados no tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA
1	A distinta força de interação entre os diferentes monômeros sobrepostos influencia na estrutura tridimensional do biopolímero de DNA. Portanto, a conformação de uma região da dupla hélice depende da sequência de nucleotídeos.
2	Dois monômeros estão unidos em uma mesma cadeia polimérica do DNA por meio de uma ligação covalente denominada ligação fosfodiéster. Está ligação determina a direcionalidade 5’->3’ de cada cadeia polimérica.
3	A associação das duas cadeias poliméricas de DNA ocorre por meio de ligações não covalentes, as ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas complementares AT e CG.
4	As interações não covalentes entre monômeros sobrepostos é favorecida pelo comprimento próximo dos pares de monômeros dA-dT e dC-dG.
5 e 6	O meio aquoso da célula influencia a estrutura do biopolímero à medida que interage de forma distinta com as partes hidrofílica (fosfato) e hidrofóbica (base nitrogenada) de cada monômero, determinando a formação, respectivamente, dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.
7	O meio aquoso influencia no estabelecimento das interações não covalentes que em conjunto estabilizam a dupla hélice. Entre monômeros adjacentes na mesma cadeia, as interações de empilhamento de bases, entre monômeros em cadeias complementares, as ligações de hidrogênio, e entre os grupos fosfato negativamente carregados com moléculas de água e íons.
8	A orientação antiparalela dos pares de monômeros determina a orientação antiparalela do duplo polímero e a subsequente formação de padrões estruturais, fenda maior e menor.
9	Determinada sequência de monômeros pode resultar numa fenda menor mais “alargada” que serve como sítio de reconhecimento de sequência específica por proteínas. De forma que o reconhecimento de sequência específica não envolve sempre a fenda maior.

Etapa 2: Definir a distribuição do conteúdo em uma matriz conceitual do tutorial

A estrutura do tutorial objetiva articular o *corpus* conceitual da melhor forma a favorecer a aprendizagem do DNA como biopolímero. Nesse sentido, foi desenvolvida uma matriz conceitual (tabela 2) que estabelece 12 inter-relações na vertente: elemento estrutural, interação química e atividade biológica. Em suma, consiste em estabelecer as relações entre elementos estruturais do DNA e as respectivas interações químicas, buscando evidenciar relações entre estrutura e atividade biológica relativa ao conceito bioquímico relacionado. As inter-relações foram determinadas no intuito de delinear a abordagem química do biopolímero de DNA, explicando sua estrutura tridimensional como determinada pelas suas interações covalentes e não covalentes e pela interação com o meio aquoso e outras biomoléculas da célula.

Tabela 2. Matriz conceitual do tutorial “Estrutura e estabilidade do DNA”.

Unidade conceitual	Interações químicas <i>versus</i> elementos estruturais/conceito	Ligações fosfodiéster	Ligações de Hidrogênio	Empilhamento de bases	Interações iônicas
1. Duplo polímero	Duas cadeias poliméricas	Dupla hélice A, B, Z	Dupla hélice A, B, Z	Dupla hélice A, B, Z	Dupla hélice A, B, Z
2. Polímero e composição monômero	Nucleotídeos dA, dT, dC, dG. Grupo fosfato, desoxirribose e base nitrogenada.				
3. Ligação entre monômeros na mesma cadeia	Grupos fosfato	i. Sequência de nucleotídeos direcionalidade 5'→3' da cadeia; ii. Codifica informação genética.			

Unidade conceitual	Interações químicas <i>versus</i> elementos estruturais/conceito	Ligações fosfodiéster	Ligações de Hidrogênio	Empilhamento de bases	Interações iônicas
4. Ligação dos monômeros entre cadeias	Bases nitrogenadas		Pares A/T e C/G; Frequência de dG=dC, dA=dT (princípio de Chargaff).		
5. Interações entre monômeros na mesma cadeia	Bases nitrogenadas			Interações fundamentais para estabilidade da dupla hélice.	
6. Interações entre monômeros com meio aquoso	Grupos fosfato	Interação histonas /DNA na formação do <u>nucleossomo</u> (unidade fundamental da cromatina.)			Domínio hidrofílico da dupla hélice.
	Bases nitrogenadas			Domínio hidrofóbico da dupla hélice.	
7. Estabilidade do duplo polímero	Grupos fosfato	Estabilidade da dupla hélice.			Estabilidade da dupla hélice.
	Desoxirribose				
	Bases nitrogenadas		Estabilidade da dupla hélice.		
8. Orientação do duplo polímero	Direcionalidade 5'→3' da cadeia polimérica	Sentido da replicação e transcrição.			
9. Fendas do duplo polímero	Orientação antiparalela das cadeias poliméricas	Síntese de fragmentos de Okasaki na replicação da fita 3'→5'.			
10. Fendas do duplo polímero	Fendas da dupla hélice		Reconhecer sequência específica.		
	Grupos fosfato				Reconhecer sequência inespecífica.

Unidade conceitual	Interações químicas <i>versus</i> elementos estruturais/conceito	Ligações fosfodiéster	Ligações de Hidrogênio	Empilhamento de bases	Interações iônicas
11. Interações entre biopolímeros	Fenda maior (Aceptores e Doadores de ligação de H mais expostos, padrão distinto AT/TA e CG/GC)		Favorece reconhecer sequência específica.		
	Fenda menor (Aceptores e Doadores de ligação de H menos expostos e padrão semelhante AT/TA e CG/GC)		Não favorece reconhecer sequência específica.		
12. Revisão 2D e 3D		Ligação fosfodiéster e direcionalidade da cadeia.	Ligação de hidrogênio entre pares de bases AT/TA e CG/GC.		
13. Interação entre proteína e DNA	Sequência de nucleotídeos			Determina conformações específicas de dupla hélice	
	Grupos químicos das bases nitrogenadas expostos na fenda maior		Reconhecer sequência específica (proteína Gal4)		
	Grupos químicos das bases nitrogenadas expostos na fenda menor		Reconhecer sequência específica (proteína TBP)		

A análise da matriz possibilitou a organização do conteúdo segundo sete princípios, apresentados abaixo conforme o papel de cada um na concepção do tutorial:

1. Determinar unidades conceituais, de modo que, para cada inter-relação da matriz conceitual (elemento estrutural <-> interação química <-> atividade biológica), haja uma unidade distinta no tutorial.
2. Guiar o aprendiz pela exploração das animações da estrutura tridimensional da molécula em cada unidade conceitual.
3. Possibilitar duas formas de exploração do conteúdo em cada unidade conceitual, linear e não linear (opcional).
4. Organizar a sequência de unidades conceituais por meio de uma sequência de perguntas e respostas sobre a estrutura da molécula.
5. Iniciar a explicação pela macroestrutura da molécula.
6. Apresentar uma unidade conceitual de revisão de conteúdo por meio da associação entre um diagrama bidimensional da molécula com animações interativas 3D da molécula.
7. Apresentar explicação sobre os diferentes modos de representação 3D da molécula antes de iniciar o tutorial.

Princípio 1: Determinar uma unidade conceitual para cada inter-relação da matriz conceitual entre elemento estrutural / interação química / atividade biológica. Assim, o tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” é composto por 13 unidades conceituais relativas às doze inter-relações estabelecidas na matriz conceitual e uma unidade de revisão do conteúdo. A divisão do tutorial em unidades conceituais está fundamentada no **Princípio de Aprendizagem por Multimídia da Segmentação de Mayer** (MAYER, 2005) que se refere às pessoas aprenderem mais e melhor quando o material multimídia subdivide o conteúdo do que quando

este é apresentado em uma única unidade contínua. A estratégia possibilita que o aprendiz determine seu próprio ritmo de exploração do conteúdo. Antes da primeira unidade conceitual o tutorial apresenta uma introdução que explicita os objetivos educacionais e os conteúdos que serão explicados, sendo empregado o **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Personalização**, que teoriza o uso de palavras em estilo de conversa (informal) em vez de estilo formal.

Princípio 2: Guiar o aprendiz pela exploração das animações da estrutura tridimensional da molécula em cada unidade conceitual. Este princípio está fundamentado no **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Multimídia de Mayer**, que se refere às pessoas aprenderem mais e melhor por meio da associação do verbal e visual. Para tal cada unidade conceitual utiliza mídias auxiliares como texto, tabela e diagrama bidimensional. A animação da estrutura 3D apresentada em cada unidade tem sua exploração guiada por um texto apresentado na forma de pergunta e resposta, conforme representado pela figura 12B. Assim, cada unidade conceitual é representada pela sequência de ações: leitura do texto, decisão de exibir a animação usando o botão "Visualize 3D", interpretação da animação e por último seguir para a próxima unidade conceitual ou retornar à anterior, conforme diagrama da figura 12A relacionado à primeira unidade conceitual (Figura 12B). A função do botão "visualize 3D" é relacionar explicitamente a enunciação verbal do conceito tratado no texto com a respectiva representação visual da estrutura molecular. Grosso modo, opera como uma espécie de "tradutor" entre as duas formas de representação do conceito.

Princípio 3: Possibilitar duas formas de exploração do conteúdo em cada unidade conceitual, linear e não linear (opcional). A exploração linear depende apenas da natureza e organização hierárquica do texto, que é dividida em uma resposta curta inicial com conceitos essenciais da estrutura básica da molécula, uma explicação refinada e uma associação entre estrutura e atividade da biomolécula (Figura 12A). Esta divisão do texto baseou-se no **Princípio de aprendizagem por Multimídia de Sinalização de Mayer**, que se refere às pessoas aprenderem melhor quando é adicionado ao material ferramentas que salientam a organização do material, ou seja, o que é essencial a ser aprendido em meio ao conteúdo. A exploração não-linear é dependente do conhecimento prévio de cada aluno que pode acessar *hiperlinks*²⁰ (representados pelo ícone) para biblioteca de conceitos, obtendo explicação adicional sobre conceitos químicos que são necessários para entender a informação presente na exploração linear.

A presença de *links* para conhecimentos prévios baseia-se no **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Pré-treinamento**, que se refere a apresentar os conceitos prévios necessários para compreensão do conteúdo antes da instrução. Além disso, o **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Coerência** também se aplica, visto que os *hiperlinks* possibilitam que os alunos não tenham informações demais na unidade conceitual, o que atrapalharia a entendimento do conhecimento fundamental. Por exemplo, compreender quimicamente o que são ligações de hidrogênio é necessário para entender a unidade conceitual intitulada “Como os nucleotídeos de cadeias poliméricas complementares se associam?”, porém a explicação do que são as ligações em

²⁰ *Hiperlik* é um *link*, ou seja, uma ligação com uma outra página da internet que será aberta em uma aba distinta, podendo ser um conteúdo do mesmo site ou de outro.

conjunto com a resposta à pergunta seria um fator que contribuiria com a sobrecarga cognitiva.

Figura 12. A. Diagrama da organização hierárquica de cada unidade conceitual. B. 1ª unidade conceitual do Tutorial “Estrutura e estabilidade do DNA”.

Uma outra possibilidade de exploração não linear do material didático se dá pela utilização das funções nativas da plataforma LABIQ que possibilita realizar algumas ações com a molécula por meio dos botões que aparecem ao redor (Figura 13): 1. Acesso às animações, 2. Visualizar molécula no modelo bastão, 3. Visualizar molécula no modelo volume atômico, 4. Visualizar molécula no modelo bola-e-bastão, 5. Reiniciar/restaurar a molécula para a configuração básica do PDB, 6. Rotacionar a molécula, 7. Aumentar o zoom, 8. Diminuir o zoom, 9. Salvar uma imagem Jpeg. Essas ações de manipulação da estrutura tridimensional são apresentadas no material didático do PDB, o qual não apresenta explicação do conteúdo (Figura 6).

Figura 13: Botões de ação para manipular a estrutura 3D/molécula.

Princípio 4: Organizar a sequência de unidades conceituais por meio de uma sequência de perguntas e respostas sobre a estrutura da molécula. As perguntas são formuladas de forma a estabelecer explicitamente as relações entre a macroestrutura (cadeias poliméricas) e a microestrutura (monômeros), baseado no Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Sinalização, visto que as perguntas objetivam realçar o que é importante de se entender em cada unidade conceitual. Abordagem das interações químicas que ocorrem entre os nucleotídeos em uma

mesma cadeia polimérica, entre duas cadeias poliméricas, entre as cadeias poliméricas com o meio aquoso e outras moléculas da célula. Portanto, cada unidade responde uma questão, sendo a exploração hierárquica planejada para integrar a abordagem química da biomolécula evidenciada na matriz conceitual, explicando sua estrutura tridimensional como determinada pelas suas interações covalentes e não covalentes e pela interação com o meio aquoso e outras biomoléculas da célula.

Princípio 5: Iniciar a explicação pela macroestrutura da molécula. A primeira unidade conceitual do tutorial (Figura 12B) salienta as fendas maior e menor do DNA e sua importância para a interação com outras moléculas. Essa abordagem contrasta com os livros didáticos analisados, que iniciam explicando a estrutura química do nucleotídeo. Essa abordagem foi adotada objetivando a construção do material didático que primeiramente apresenta as ideias mais gerais e inclusivas para depois diferenciá-las, ou seja, a macroestrutura que se refere à dupla hélice, para a seguir explorar a estrutura química dos nucleotídeos. Aqui também cabe ressaltar a importância do **Princípio de Aprendizagem de multimídia de Mayer de Coerência**, visto que as respostas são objetivas, sem detalhes que possam sobrecarregar a memória de curta duração do aprendiz, os quais são colocados nos *hiperlinks*, conforme mencionado acima.

Princípio 6: Apresentar uma unidade conceitual de revisão de conteúdo por meio da associação entre um diagrama bidimensional da molécula com animações interativas 3D da molécula. Este princípio funciona como a etapa de

parada ou avaliação da aprendizagem que é uma característica do objeto de aprendizagem do tipo tutorial. Nesse momento os alunos podem responder as questões que objetivam a metacognição e a avaliação do conteúdo aprendido. A figura 14 é referente à unidade conceitual destinada a recapitular o conteúdo do tutorial apresentando, em vez de um texto, um diagrama da dupla hélice do DNA. A RE bidimensional da dupla hélice atua como auxiliar para a aprendizagem do conhecimento novo (estrutura em três dimensões) e incorporação deste na memória de longa duração do aprendiz. O diagrama apresenta áreas que quando se passa o mouse sobre elas salientam uma coloração acinzentada, indicando que podem ser clicadas para acionar uma animação da estrutura tridimensional do DNA. Por exemplo, a área retangular acinzentada com borda vermelha indica uma área clicável para acionar a animação que representa as ligações de hidrogênio entre o par de bases adenina e timina. Essa estratégia objetiva estimular o aprendiz a estabelecer relações entre a estrutura bidimensional e tridimensional da dupla hélice.

Figura 14. Unidade conceitual do tutorial que inter-relaciona estrutura bidimensional e tridimensional do DNA.

Princípio 7: Apresentar explicação sobre os diferentes modos de representação 3D da molécula antes de iniciar o tutorial, conforme Princípio de aprendizagem por Multimídia de Pré-treinamento de Mayer.

A tabela 3 apresenta a organização do conteúdo das doze unidades conceituais, de acordo com os sete princípios apresentados anteriormente:

- i. Exploração linear do conteúdo em cada unidade conceitual, apresentando em cada unidade a pergunta e a resposta (pergunta da unidade conceitual, resposta resumida, resposta detalhada e associação entre estrutura e atividade biológica). A pergunta e a resposta de cada unidade

explicitam uma inter-relação entre um elemento estrutural, uma interação química e uma atividade biológica do DNA.

- ii. Exploração não linear (opcional), determinada pelo acesso aos *hiperlinks* da biblioteca de conceitos, a qual visa contemplar as diferenças de conhecimento prévio dos aprendizes. Tabela 3. Sequência hierárquica linear e não linear das doze unidades conceituais do tutorial “Estrutura e estabilidade do DNA”.

Tabela 3: Organização do conteúdo das doze unidades conceituais.

Unidade conceitual	Navegação Linear	Navegação Não linear (opcional)
	1. Pergunta da unidade conceitual 2. Resposta resumida 3. Resposta detalhada 4. Associação entre estrutura e atividade biológica REM: representações da estrutura molecular empregadas	<i>Hiperlinks</i> para biblioteca de conceitos
1º Duplo polímero	1. Como é organizada a molécula de DNA? 2. Duas cadeias poliméricas associadas como uma dupla hélice. 3. A superfície do duplo polímero apresenta fendas maior e menor. 4. As fendas interagem com proteínas e outras moléculas.	Dupla hélice A, B, Z.
2º Polímero e composição monômero	1. Qual a composição das cadeias poliméricas do DNA? 2. Quatro monômeros (nucleotídeos): dG, dC, dT, dA. 3. Composição dos monômeros: fosfato, desoxirribose e base nitrogenada (G, C, T or A). 4. Sequência de nucleotídeos no DNA codifica a informação genética.	Nomenclatura
3º Ligação entre monômeros na mesma cadeia	1. Como os nucleotídeos estão unidos na mesma cadeia polimérica? 2. Ligação covalente (fosfodiéster) une monômeros na mesma cadeia. 3. Determina direcionalidade 5'→3' de cada cadeia polimérica. 4. Direcionalidade da cadeia polimérica define o sentido da replicação e transcrição.	Ligação fosfodiéster
4º Ligação dos monômeros entre cadeias	1. Como os nucleotídeos de cadeias poliméricas complementares se associam? 2. Associação das duas cadeias poliméricas por ligações de hidrogênio entre os pares de bases. 3. Complementaridade de monômeros dA-dT and dG-dC 4. Replicação fidedigna do DNA	Ligação de hidrogênio
5º Interações entre	1. Como as bases nitrogenadas interagem na mesma cadeia polimérica?	Dipolo-dipolo induzido e

monômeros na mesma cadeia	2. Empilhamento entre bases nitrogenadas sobrepostas na mesma cadeia polimérica. 3. Interações não covalentes: dipolo-dipolo induzido e dipolo-dipolo. 4. Importância para a estabilidade da dupla hélice.	Dipolo-dipolo
Unidade conceitual	Navegação Linear	Navegação Não linear (opcional)
	1. Pergunta da unidade conceitual 2. Resposta resumida 3. Resposta detalhada 4. Associação entre estrutura e atividade biológica REM: representações da estrutura molecular empregadas	Hiperlinks para biblioteca de conceitos
6° Interações entre monômeros com meio aquoso	1. Como são estabelecidos os domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice? 2. Efeito hidrofóbico na base nitrogenada e hidrofílico no grupo fosfato. 3. Promove empilhamento de bases e carga negativa dos grupos fosfato. 4. Grupos fosfato negativamente carregados interagem com proteínas.	Nucleossomo
7° Estabilidade do duplo polímero	1. O que estabiliza a dupla hélice do DNA? 2. Interações eletrostáticas entre grupos funcionais do DNA. 3. Na mesma cadeia (Empilhamento de bases), entre cadeias (ligações de hidrogênio) e com o meio aquoso (ion-dipolo, dipolo-dipolo).	Interações intra e intermoleculares
8° Orientação do duplo polímero	1. Como estão orientadas as cadeias poliméricas? 2. As duas cadeias poliméricas são orientadas de forma antiparalela 3. Orientação antiparalela de monômeros complementares. 4. Fragmentos de Okasaki durante a replicação.	
9° Fendas do duplo polímero	1. Qual a consequência da orientação antiparalela das cadeias? 2. Formação das fendas maior e menor na superfície da dupla hélice. 3. Fenda menor (ângulo 120°) e fenda maior (ângulo 240°)	Ligação de hidrogênio
10° Fendas do duplo polímero	1. Qual a importância das fendas da dupla hélice? 2. Exposição de grupos químicos das bases nitrogenadas nas fendas 3. Grupos aceptores e doadores de ligação de hidrogênio 4. Proteínas realizam reconhecimento de sequência específica de nucleotídeos.	
11° Interação DNA e proteínas	1. Como é feito o reconhecimento de sequências específicas de nucleotídeos por proteínas? 2. Por meio do padrão de ligações de hidrogênio entre aminoácidos e grupos químicos expostos na fenda maior da dupla hélice. 3. Padrão de aceptores e doadores de hidrogênio (fenda maior e menor)	
12° Revisão 2D e 3D	Quais elementos estruturais da dupla hélice estão representados pelo diagrama? Estabelecer relações entre o diagrama bidimensional da dupla hélice e as animações interativas 3D do DNA.	
13° Interação DNA e proteínas	Exemplos de reconhecimento do DNA por proteínas via fenda menor e via fenda maior.	

A figura 15 representa a 11ª unidade conceitual, que explica o conteúdo sobre como as proteínas realizam reconhecimento de sequência específica. Para tal, apresenta uma tabela com os grupos químicos das bases nitrogenadas que estão expostos nas fendas maior e menor dos pares AT-TA/CG-GC. Essa unidade explicita particularmente a importância da visualização tridimensional da molécula, na medida em que evidencia a maior exposição dos grupos químicos das bases nitrogenadas na fenda maior, se comparado com a fenda menor. Além disso, possibilita evidenciar o padrão de grupos químicos aceptores e doadores de ligações de hidrogênio. Dessa forma, a visualização e a manipulação da estrutura pelo aprendiz favorecem que este compreenda como ocorre o reconhecimento de sequência específica e o porque, na maioria das vezes, envolve a fenda maior e não a menor.

Como e feito o reconhecimento de sequências específicas de nucleotídeos por proteínas?

O reconhecimento de sequências específicas de nucleotídeos por proteínas envolve o padrão de ligações de hidrogênio estabelecido entre resíduos de aminoácidos com os grupos químicos aceptores e doadores de hidrogênio expostos nas fendas, uma vez que as interações eletrostáticas com o esqueleto fosfodiéster são comuns a qualquer sequência. Em geral, as proteínas reconhecem os grupos químicos expostos na fenda maior, por duas razões: 1. Possui maior diâmetro, o que favorece o contato direto entre os resíduos de aminoácidos do domínio de ligação da proteína com os grupos químicos das bases nitrogenadas. 2. Expõe padrão de grupos químicos aceptores e doadores de hidrogênio distinto entre os pares de bases A-T, T-A e C-G, G-C. Além disso, exibe uma inversão da posição espacial do grupo Metila e do grupo 4-amino, que é importante para a distinção entre os pares. Note que a fenda menor apresenta o mesmo padrão de grupos químicos entre os pares A-T, T-A e C-G, G-C. Isto não favorece o reconhecimento de sequência específica, embora não inviabilize.

Par de bases	Fenda maior				Fenda menor		
T-A	Metila	AH	DH	AH	AH	H	AH
A-T	AH	DH	AH	Metila	AH	H	AH
C-G	4-amino	AH	AH	-	AH	DH	AH
G-C	AH	AH	4-amino	-	AH	DH	AH

Figura 15. Unidade conceitual que apresenta o reconhecimento de sequência específica de nucleotídeos por proteínas.

Etapa 3: Integrar textos, diagramas, tabelas e animações moleculares 3D

Para favorecer a transposição da informação simbólica (texto) para a animação tridimensional, foi estabelecido um código de cores entre elementos de estrutura mencionados no texto e exibidos na animação, com base no **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Sinalização**. O código de cores

adotado para os nucleotídeos dA, dT, dC e dG é o mesmo na animação relacionada ao texto no diagrama esquemático do DNA (Figura 14). É importante salientar sobre a relação texto e imagem (animação 3D) que é o texto, por meio da enunciação de conceitos que possibilita estabelecer as conexões analógicas que medeiam a articulação de significados nas representações da estrutura molecular, ou seja, a decodificação dos conceitos que estão sendo apresentados na representação externa. Apenas a representação sem a explicação textual não seria a forma mais adequada para favorecer a aprendizagem. Portanto, para um aprendiz iniciante, tanto o texto composto pela pergunta e a resposta, assim como os textos que aparecem na animação são essenciais para a compreensão das informações codificadas na animação. Após compreender os conceitos, o aprendiz não necessitaria mais de textos indicativos na animação para decodificar as características estruturais do DNA.

Etapas 4: Desenvolver as animações integrando diferentes modos de representação tridimensional de moléculas

A transição entre diferentes modos de representação tridimensional pode ser cognitivamente desafiadora para os estudantes (SCHÖNBORN e ANDERSON, 2006). Para favorecer a compreensão da transição entre diferentes modos de representação 3D foram adotados os seguintes princípios, os quais estão relacionados aos seis princípios de desenvolvimento de conteúdo:

1. Exibir texto simultaneamente e perto das características estruturais a serem destacadas, baseado no **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer da**

Continuidade Temporal e Espacial, os quais se referem a apresentar o texto próximo e ao mesmo tempo em que é salientado o elemento estrutural da molécula.

2. Exibir legenda para indicar a transição entre os modos de representação 3D (Figura 16A)

3. Estabelecer transições graduais entre os modos de representação 3D.

4. Estabelecer explicitamente as relações entre a macroestrutura (cadeias poliméricas) e a microestrutura (monômeros), por exemplo, para sair da dupla hélice para o nucleotídeo, adota-se estratégias como evidenciar o monômero “piscando”, dar zoom e depois desaparecer a macroestrutura, informando as ações por meio da legenda (Figura 16B).

A

B

Figura 16. A. Mudança gradual de modo de representação, indicado por legenda. **B.** Sequência de animação: zoom no desoxiguanilato e indicação por legenda dos grupos estruturais: fosfato, desoxirribose e base nitrogenada (guanina).

Para a compreensão das animações se faz necessário o uso de legendas e também de palavras apresentadas próximas e simultaneamente ao respectivo elemento estrutural sobre o qual se objetiva construir conhecimento com a visualização e manipulação da animação tridimensional interativa, de forma que não será adicionada narração às animações, uma vez que já possuem legenda. Isto porque considerando-se o **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Redundância** que teoriza que não é vantajoso adicionar legenda a animação com narração, sendo o mesmo válido para não se adicionar narração a animação com legenda, no intuito de não sobrecarregar cognitivamente a memória de trabalho do aprendiz. Portanto, dentre os 12 princípios de aprendizagem por multimídia de Mayer, o **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Modalidade**, referente a usar narração e figuras em vez de legendas e figuras, não será atendido. Por consequência, o **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Voz** também não é aplicável, uma vez que teoriza o uso de narração, devendo esta ser com voz humana em vez de computador.

Também existe um impedimento técnico de se adicionar narração à animação, uma vez que o *plugin* do JSmol não permite inclusão de áudio na animação. Assim, a gravação teria que ser externa e associada à animação, o que poderia incorrer em uma não sincronia de reprodução dos dois arquivos, ou seja, o áudio poderia estar atrasado ou adiantado em relação a animação havendo reprodução de uma mensagem distinta ao que está sendo mostrado pela animação. Em realidade, nessa situação seria produzido um vídeo, o qual não contempla a interatividade e por consequência os objetivos deste trabalho.

O último **Princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer de Imagem** que diz que “As pessoas não necessariamente aprendem mais e melhor quando em uma apresentação multimídia é apresentada a imagem do apresentador”, será atendido uma vez que não é considerado necessário adicionar uma foto dos autores ao tutorial.

Etapa 5: Exibir simultaneamente na página web mídia acessória e animação molecular 3D

O desenvolvimento da interface gráfica da página web, que consiste em animação da estrutura tridimensional do DNA em conjunto com o conteúdo relacionado, hipertexto ou figura bidimensional, será subordinada ao estabelecimento dos Princípios de Aprendizagem por Multimídia. Portanto, cada unidade básica de conteúdo é uma página em hipertexto e com uma visualização de estrutura molecular, onde será visualizada a animação tridimensional interativa do biopolímero de DNA. Portanto, a interface gráfica apresentará: 1. Divisão em unidades conceituais, 2. Exploração hierárquica e interatividade (botões de ação) e 3. Exibir na página web a animação com hipertexto ou figura bidimensional relacionados. Todos os símbolos, ícones, e códigos de cores adotados objetivaram a clareza e simplicidade visual dos tutoriais, fundamentais para que o estudante possa focar sua atenção na visualização das animações.

Em suma, as cinco diretrizes da metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D estão embasadas em 10 dos 12 Princípios de Aprendizagem por Multimídia de Mayer, conforme o digrama apresentado na figura 17.

Figura 17. Diagrama da metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D.

1.3 Proposta didática de uso dos tutoriais

O tutorial apresenta para o aluno um caminho exploratório da estrutura molecular do DNA, podendo ser utilizado em qualquer contexto de ensino e aprendizagem, tais como as seguintes modalidades: i. aprendizagem individual, na qual o aprendiz dita seu ritmo de aprendizagem ao usar o tutorial *online* em casa, podendo servir como ferramenta para adquirir conhecimentos e discutir em sala de aula; ii. uso em sala de aula por meio da projeção das animações no quadro como ferramenta visual que auxilia a explicação do professor sobre a estrutura molecular do DNA; e iii. aprendizagem em pequenos grupos de estudantes em uma atividade didática em sala de aula, planejada com base nas diretrizes que objetivam estimular a motivação dos estudantes e a aprendizagem, estando alinhadas com os princípios de implementação de Instrução Assistida por Computador (CAI) (COSTA et al., 2008). Além disso, é fundamental o acompanhamento da atividade pelo professor e por monitores no intuito de incentivar os alunos a raciocinarem criticamente sobre o conteúdo. A seguir são apresentadas e detalhadas as 8 etapas para o planejamento da atividade de uso do tutorial, no intuito de estimular a motivação dos estudantes e a aprendizagem, estando alinhadas com os princípios de implementação de Instrução Assistida por Computador (CAI):

1. Integrar o uso do tutorial de estrutura molecular no currículo da disciplina;
2. Planejar uma atividade para usar o tutorial;
3. Ajustar a atividade didática à infraestrutura e recursos disponíveis;
4. Maximizar a interatividade por meio de uma atividade guia;
5. Realizar a atividade em pequenos grupos de alunos;

6. Certificar-se de que os alunos entenderam os objetivos de aprendizagem;
7. Permitir diferentes ritmos de aprendizagem entre grupos, mas certifique-se de que todos os grupos atinjam os objetivos;
8. Avaliar o desempenho do aluno durante a atividade (Sugestão de atividade inclusa no tutorial).

Etapa 1: Integrar o uso do tutorial de estrutura molecular no currículo da disciplina

Incluir no currículo da disciplina os objetivos elaborados utilizando a Taxonomia de Bloom dos objetivos educacionais que definam claramente as habilidades a serem desenvolvidas usando os tutoriais. Exemplos de objetivos apresentados na seção introdutória do tutorial: i. Descrever os tipos de conformação espacial que as duas cadeias poliméricas do DNA podem adotar; e ii. Listar os quatro monômeros que compõem o biopolímero de DNA;

Etapa 2: Planejar uma atividade para usar o tutorial

O tutorial fornece para o aluno um caminho exploratório da estrutura molecular, porém o ideal é inserir o material didático em uma atividade planejada para estimular o aluno a pensar raciocinar criticamente sobre o conteúdo das animações e dos textos.

Etapa 3: Ajustar a atividade didática à infraestrutura e recursos disponíveis

A aplicação dos tutoriais deve ser ajustada às condições existentes, a fim de evitar dificuldades de aprendizagem resultantes de uma implementação inadequada da CAI. Nesse sentido, antes de planejar sua atividade, verifique os seguintes itens: i. Número de computadores disponíveis e espaço físico da sala de aula; ii. Conexão

de *internet*; iii. Navegadores da Web disponíveis no computador, preferencialmente, Chrome ou Firefox, por serem mais adequados para carregar as animações; Iv. Suporte de um técnico de informática em caso de qualquer problema; V. Assistência para os alunos fornecida pelo professor e monitores.

Etapa 4: Maximizar a interatividade por meio de uma atividade guia

Maximize a interatividade solicitando que os alunos respondam às questões durante a execução dos tutoriais. Estas questões devem estar relacionadas aos principais conceitos biológicos sobre o DNA, interações químicas que ocorrem no biopolímero e as relações entre a estrutura e as atividades biológicas do DNA. Além disso, devem ser formuladas de forma a englobar a avaliação de habilidades de baixa e alta ordem cognitiva. Uma proposta de atividade guia para a execução do tutorial é a que foi aplicada durante a realização do tutorial com os alunos de graduação (APÊNDICE B). A atividade envolve Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem nos níveis de conhecimento e compreensão da Taxonomia de Bloom.

Etapa 5: Realizar a atividade em pequenos grupos de alunos

Os pequenos grupos tendem a promover maior desempenho do aluno nas questões de alta ordem cognitiva quando comparado aos estudantes que resolvem a mesma atividade sem colaboração entre pares (COSTA, 2014). Dessa forma, procure ajustar o número de alunos por grupo à infraestrutura e aos recursos disponíveis, mas tente não ter mais de cinco alunos usando o mesmo computador para favorecer uma experiência de aprendizagem com qualidade para todos os aprendizes. Muitos alunos utilizando o mesmo computador pode dificultar a visualização das animações, assim como a discussão sobre o conteúdo.

Etapa 6: Certificar-se de que os alunos entenderam os objetivos de aprendizagem

Ambos os tutoriais, a "Estrutura e Estabilidade do DNA" e a "Estabilidade do DNA" possuem objetivos de aprendizagem claramente definidos apresentados na página de introdução. Certifique-se de que os alunos entenderam os objetivos definidos no tutorial, assim como os designados pelo professor e integrados ao currículo da disciplina.

Etapa 7: Permitir diferentes ritmos de aprendizagem entre grupos, mas certifique-se de que todos os grupos atinjam os objetivos

A estrutura do conteúdo presente no tutorial e a atividade didática são planejados no intuito de possibilitar maior controle sobre a duração e os produtos de aprendizagem, mas os alunos terão sempre ritmos de aprendizagem diferentes. Em alguns grupos podem ter alunos que estão colaborando mais, o que poderia resultar em um progresso mais rápido de realização da atividade. Uma vez que todos os alunos compreenderam os objetivos de aprendizagem que devem ser alcançados, não há problema em permitir variações no tempo necessário para que cada grupo atinja seus objetivos.

Etapa 8: Avaliar o desempenho do aluno durante a atividade

Em geral, os estudantes se engajam mais em uma atividade quando sabem que estão sendo avaliados. Dessa forma, seja muito claro ao informar aos alunos que o desempenho nas questões e a participação nas discussões do grupo serão valoradas com nota.

O tutorial possui uma sugestão de exercício para os alunos resolverem que consiste em um texto com lacunas as quais devem ser completadas com conceitos

sobre a estrutura do DNA (Figura 18), a qual pode ser acessada pelo *link* http://moleculas.iq.usp.br/paginas_view.php?idPagina=784&idTopico=1236#.XHP_XJNKhbU.

Questões

Tutorial Estrutura e Estabilidade do DNA

O texto abaixo apresenta lacunas que devem ser preenchidas com os termos corretos, sendo que cada lacuna está relacionada a uma animação da estrutura tridimensional do DNA.

Instruções: Para visualizar as opções de preenchimento das lacunas clique sobre o botão. Selecione uma opção, a qual irá acionar a respectiva animação da estrutura do DNA. O termo selecionado não aparecerá escrito na lacuna e será necessário clicar novamente sobre o botão para fechar o menu de opções.

O DNA é composto por duas associadas como uma dupla hélice formadas por quatro distintos, denominados nucleotídeos. Em cada nucleotídeo identifica-se os seguintes grupos químicos: um , uma , e uma , a qual pode ser , , ou . Em uma cadeia, os nucleotídeos estão unidos por meio de ligações covalentes, denominadas , em que o grupo fosfato de um nucleotídeo está ligado ao carbono 5' da desoxirribose e ao carbono 3' da desoxirribose do nucleotídeo anterior e assim sucessivamente. A associação das duas cadeias poliméricas ocorre por meio de entre os pares de bases nitrogenadas: e . Em cada cadeia polimérica as bases nitrogenadas sobrepostas interagem por meio de interações de , o que diminui a exposição destas à água e estabelece o . O esqueleto fosfodiéster possui grupos fosfato carregados negativamente que interagem com moléculas de água, o qual representa o da dupla hélice. As duas cadeias poliméricas estão orientadas de forma , apresentando em cada extremidade os grupos . A dupla hélice apresenta duas características estruturais distintas que se repetem no sentido das cadeias, as .

.

Dúvidas? Acesse o Tutorial Estrutura e Estabilidade do DNA.

Gabarito .

Figura 18: Questão sobre estrutura e estabilidade do DNA.

Cada lacuna é referente a um conceito e tem uma animação associada, de forma que o aluno pode ir visualizando as animações no intuito de escolher qual animação, ou seja, qual conceito preenche corretamente cada lacuna. Por exemplo,

a animação da dupla hélice do DNA, apresentada na figura 18, é apresentada quando o aluno seleciona a opção “Cadeia poliméricas” no menu que é exibido após clicar sobre o botão da lacuna (Figura 19).

Figura 19: Menu de animações/conceitos exibido ao clicar sobre as lacunas do texto.

1.4 Conclusão

O desenvolvimento dos tutoriais de moléculas com animações interativas 3D “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”, embasados no referencial da Teoria de Aprendizagem por Multimídia de Mayer, se mostrou efetivo, considerando os seguintes pontos: i. foram incorporados ao desenvolvimento do material didático 10 dos 12 princípios da Teoria, e ii. a metodologia resultou em um objeto de aprendizagem que pode ser reutilizado em diferentes propostas de ensino e aprendizagem.

Uma característica da ferramenta que subsidia o uso em diversas situações de ensino é a determinação de unidades conceituais fundamentada no Princípio de Aprendizagem por Multimídia da Segmentação de Mayer. As unidades conceituais, cada uma referente a uma pergunta e resposta, visam facilitar a utilização parcial do material didático, isto é, possibilitar ao professor selecionar quais unidades conceituais são condizentes com o conteúdo que está sendo trabalhado em aula. Dessa forma, o docente pode indicar para os alunos quais unidades poderiam estudar em casa ou até mesmo projetar as animações em sala auxiliando nas explicações da aula expositiva tradicional. Assim, o tutorial não precisa ser utilizado apenas conforme a proposta didática apresentada nesse capítulo, ou seja, em uma atividade em sala de aula com pequenos grupos de alunos visualizando, manipulando e discutindo as animações interativas 3D em conjunto com a análise do texto e das imagens.

CAPÍTULO 2: Avaliação do potencial instrucional dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA” com alunos de pós-graduação

2.1. Coleta de dados

A atividade com os alunos de pós-graduação envolveu a primeira versão dos tutoriais, tendo a análise dos dados resultado em melhorias que culminaram na segunda versão dos mesmos. A aplicação dos materiais didáticos foi realizada na aula de estrutura do DNA, ministrada pela professora Nadja Cristhina de Souza Pinto na disciplina Biologia Molecular do Gene (QBQ5710). É importante salientar que esta foi a primeira aula da disciplina, de forma que os alunos não tiveram, nesta disciplina, explicação do conteúdo de estrutura e estabilidade do DNA antes de realizar os tutoriais. Assim sendo, a atividade substituiu a aula expositiva tradicional.

A duração da atividade foi de 2 horas, sendo 30 minutos para responder a um questionário de pré-teste, 1 hora e 15 minutos para a execução dos tutoriais e 15 minutos para responder ao pós-teste. Os questionários de pré-teste e pós-teste foram desenvolvidos de forma a serem representativos da compreensão sobre a estrutura e a estabilidade do DNA que se objetiva que os estudantes adquiram após a realização dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

O pré-teste é representativo do conjunto de conhecimentos, isto é, o *corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” apresentado anteriormente na tabela 1, que integra a abordagem química do biopolímero de DNA no intuito de explicar a sua estrutura tridimensional como determinada pelas suas ligações covalentes, interações não covalentes e interação com o meio aquoso da célula, proteínas e outras moléculas.

O nível de dificuldade do pós-teste é superior ao do pré-teste, pois requisita o detalhamento de conceitos explicados no tutorial “Estabilidade do DNA”, que não são avaliados pelo pré-teste, além de não avaliar conceitos estruturais básicos que são requisitados no pré-teste. Dessa forma, a comparação do pré-teste com pós-teste para avaliação do material didático se fundamenta na aprendizagem dos 9 conceitos fundamentais explicados no tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

Antes de iniciar a aplicação os alunos foram orientados sobre os objetivos e a dinâmica da atividade, que consistiu na sequência de resposta a um questionário de pré-teste para avaliação de conhecimentos prévios, realização dos tutoriais e resposta a um questionário de pós-teste, destinado a avaliar a aprendizagem e a percepção dos estudantes sobre o uso dos tutoriais. Foi enfatizado que a avaliação do poder instrucional do objeto de aprendizagem, ou seja, a verificação se os tutoriais foram efetivos em favorecer a aprendizagem dos conceitos aos quais se propôs, seria realizada por meio da comparação entre as respostas dos questionários de pré e pós-teste.

Também foi salientada a importância da participação dos alunos para a melhoria do objeto de aprendizagem e desenvolvimento da pesquisa, cujas opiniões poderiam ser expressas no questionário de percepção a ser respondido após usar os tutoriais. Em seguida, foi destacado o caráter voluntário da participação e o sigilo de suas identidades, não divulgadas na dissertação ou em trabalhos científicos resultantes da pesquisa. Os estudantes que decidiram participar da atividade assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE (APÊNDICE C – Pós-graduação).

Para assegurar a confiabilidade e credibilidade dos questionários, estes foram desenvolvidos independentemente pela pesquisadora e subsequentemente revisados por dois especialistas, os quais avaliaram os instrumentos em termos da validade do conteúdo e categorização de cada questão considerando as habilidades cognitivas requisitadas dos respondentes, classificando-as em questões que demandam Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS) ou Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (HOCS) (ZOLLER, 2002; YOLLER, 1999; LEMONS e LEMONS, 2013).

Tendo em vista as observações dos especialistas, foram realizadas as correções necessárias. Além disso, a comparação dos resultados considerando apenas resultados em Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem é mais condizente com o tipo de instrução realizada, uma vez que a atividade não teve intervenção do professor para estimular a análise crítica dos conteúdos, a metacognição dos estudantes sobre sua própria aprendizagem, dentre outras estratégias de ensino e aprendizagem que favorecem a aprendizagem em HOCS.

2.1.1 Questionário de pré-teste

O questionário de pré-teste (APÊNDICE F) é composto por três partes:

1. Formação acadêmica dos participantes, requisita informações como curso de graduação, se já possui título de pós-graduação e qual a relevância do DNA no projeto de pesquisa do aluno de pós-graduação.
2. Avaliação conceitual composta pelas questões 1 e 2, destinadas a verificar os conhecimentos prévios de estudantes em relação aos conceitos estruturais

básicos, como a composição dos quatro nucleotídeos, além dos nove conceitos do *corpus* conceitual estabelecidos na tabela 1. A questão 1 consiste em um texto com 53 lacunas que devem ser preenchidas pelos 30 termos apresentados na lista, de forma que um mesmo termo é usado para preencher mais de uma lacuna. Essa questão avalia Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS), à medida que os alunos precisam recordar conhecimentos prévios para determinar qual termo preenche corretamente a lacuna, estabelecendo sentido à frase. A questão 2, apresenta cinco representações externas do DNA, sendo três referentes à dupla hélice e duas referentes a um segmento de dupla hélice, composto por apenas dois pares de nucleotídeos. A questão pede que os alunos salientem os elementos da estrutura molecular do DNA correspondentes às frases em negrito apresentadas no texto da questão 1, porém não será considerada na análise conforme explicado na sessão de análise de dados.

3. Determinação do grau de familiaridade e dificuldade dos participantes em relação a determinados conceitos químicos relevantes para a compreensão da estrutura e estabilidade do DNA. A questão 3, formulada na modalidade "Likert", pede que o estudante julgue em uma escala de 0 a 4, seu grau de dificuldade e familiaridade em relação aos conceitos químicos perguntados.

2.1.2 Questionário de pós-teste

O questionário (APÊNDICE G) é composto por duas partes, avaliação conceitual e da percepção dos estudantes sobre o uso do material didático.

1. Avaliação conceitual consiste em duas questões, sendo que a questão 1 avalia

Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS), e foi desenvolvida para ser comparada a conhecimentos prévios requisitados na resolução da questão 1 do pré-teste. Os alunos são requisitados a julgar o grau de concordância em relação a 17 afirmações, utilizando a mesma adaptação da escala de Likert do questionário de percepção com quatro categorias (DF: discordo fortemente, D: discordo, C: concordo, CF: concordo fortemente). A questão 2 avalia Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (HOCS), em nível de aplicação da Taxonomia de Bloom, consistindo em uma situação não familiar para o aluno, cuja resolução demanda a aplicação dos conhecimentos aprendidos com o tutorial.

2.1.3 Questionário de percepção dos alunos de pós-graduação sobre o uso dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”

A percepção dos participantes foi avaliada em relação a cinco critérios: 1. Familiaridade com modos de representação tridimensional de moléculas, 2. Aprendizagem associada ao uso dos tutoriais de moléculas com animações interativas 3D, 3. Usabilidade dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”, 4. Metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D, e 5. Aceitação do tutorial como material didático. Para tal foi desenvolvido um questionário que consiste em uma adaptação da escala do tipo "Likert" (LIKERT, 1932), onde os respondentes selecionam o grau de concordância ou discordância em relação a 16 afirmações representativas dos cinco critérios, considerando uma escala de quatro categorias (DF: discordo fortemente, D: discordo, C: concordo, CF: concordo fortemente).

A escala de Likert é nomeada em função do sociólogo Dr. Rensis Likert que desenvolveu a técnica no intuito de mensurar atitudes. Em seu trabalho "Uma técnica para mensurar atitudes" publicado em 1932, a escala foi definida com 7 categorias (LIKERT, 1932). No entanto, com a disseminação e adequação da escala de Likert a trabalhos de áreas distintas, foram sendo utilizadas variações no número de categorias, desde 3 até 10. Diversos autores atestam que os coeficientes de confiabilidade permanecem inalterados com 4 categorias (JAMIESON, 2004; LEE e PAEK, 2014; LOZANO et al., 2008). Dessa forma, optou-se por uma escala com número par de categorias (4), sem a opção indiferente, por se objetivar a escolha por parte do respondente entre concordância ou discordância da afirmação. Além disso, a mesma escala foi adotada em questões conceituais do pós-teste aplicado na pós-graduação e no pré e pós-teste aplicados na graduação, por se objetivar: i. comparar no pré e pós-teste o nível de concordância e discordância do estudante em relação a cada afirmativa conceitual; e ii. determinar a aprendizagem em relação ao conceito abordado na afirmação, o que requer a escolha por parte do respondente entre concordância ou discordância da afirmação, de forma que seja possível a extrapolação para acerto ou erro do conceito.

No intuito de obter maior detalhamento da percepção dos estudantes, foi fornecido um espaço para registro de comentários sobre o uso dos tutoriais e a realização da atividade.

2.2 Análise dos dados

O pré-teste foi desenvolvido objetivando um tempo de resolução de 20 minutos, porém após transcorrido esse período uma parte dos alunos ainda estava

resolvendo a questão 1, enquanto outros estavam trabalhando na questão 2. Assim, para evitar que houvesse prejuízo na qualidade dos dados coletados pelo pré-teste em consequência de falta de tempo para apropriada resolução das questões, foi concedido mais 10 minutos resultando em um total de 30 minutos para resolução do pré-teste. Também foi solicitado aos alunos que, quando terminassem a questão 1, não respondessem a questão 2, somente a questão 3. Dessa forma, apenas parte dos 33 alunos entregaram o pré-teste com a questão 2 resolvida, tendo sido esta desconsiderada para análise dos dados.

Em relação ao pós-teste, 12 alunos conseguiram terminar durante a aula, aos demais foi solicitado que respondessem em casa para entregar na aula seguinte. Dentre os 21 alunos, apenas 11 entregaram o pós-teste na semana seguinte, cujos dados foram analisados. Os demais alunos que entregaram o pós-teste depois desse período não foram considerados na análise no intuito de evitar ruídos decorrentes de variações nos tempos de resposta dos participantes após uso do tutorial. Dessa forma, foram analisados os questionários de apenas 23 dos 33 alunos, que consistem naqueles que realizaram ambos os questionários, pré-teste e pós-teste, em até uma semana após a atividade em sala de aula.

A análise dos dados consistiu em uma abordagem quantitativa e qualitativa. A análise quantitativa da performance dos estudantes no pré-teste e pós-teste foi realizada utilizando o teste T. Além disso, foi feita uma Análise Hierárquica de Grupos (Hierarchical Cluster Analysis - HCA) com suporte do software Pirouette²¹, no intuito de agrupar os estudantes em função de sua aprendizagem dos 9 conceitos

²¹ O software Pirouette é uma ferramenta para organizar e entender dados complexos, podendo ser utilizada para diversas aplicações desde instrumentos analíticos até aplicações clínicas, monitoramento ambiental, controle de qualidade de refinaria e gerenciamento de banco de dados (<https://infometrix.com/pirouette/>).

apresentados na tabela 1. É importante salientar que a abordagem quantitativa fornece apenas um indicativo sobre a melhoria na aprendizagem não podendo ser interpretada isoladamente, de forma a ser complementada pela análise qualitativa, que consistiu na percepção dos estudantes sobre o uso do tutorial, avaliada pelo questionário de percepção e pelos comentários sobre a atividade.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Análise descritiva do questionário de pré-teste

A ordem de análise das questões objetivou apresentar, primeiramente, o perfil acadêmico dos estudantes, assim como a familiaridade e dificuldade (questão 3 do pré-teste) destes em relação aos conceitos químicos, para, em seguida, analisar os dados de aprendizagem referentes à questão 1 do pré-teste.

2.3.1.1 Perfil acadêmico dos estudantes de pós-graduação

A tabela 4 apresenta o perfil dos 23 estudantes, considerando curso de graduação, se já possui título de pós-graduação e qual a relevância do DNA no projeto de pesquisa do aluno. Dentre os 23 participantes, um não selecionou o curso de graduação e quatro não indicaram o papel do DNA no projeto de pesquisa. Uma deficiência da seção de perfil foi não pedir que ao selecionar a opção “outro” se definisse qual foi o curso de graduação, de forma que dentre os participantes que selecionaram “outro” apenas o estudante 8 escreveu que cursou Biotecnologia.

Tabela 4: Perfil acadêmico dos estudantes de pós-graduação avaliado no questionário de pré-teste.

Papel do DNA no projeto de pesquisa		Curso de graduação		Titulação	
Lateral	52% (5)	Biologia	30% (7)	Mestrado	26% (6)
Central	21% (12)	Farmácia	17% (4)	Doutorado	4% (1)
Nenhum	9% (2)	Química	13% (3)		
		Bioquímica	4% (1)		
		Outros	30% (7)		

() Número de estudantes referente à porcentagem.

2.3.1.2 Perfil de conhecimentos químicos dos estudantes (Questão 3)

A questão 3 apresenta 16 conceitos (página 256) químicos que estão envolvidos na compreensão dos conteúdos apresentados nos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”. Os 16 conceitos são avaliados em função de dois critérios, familiaridade e dificuldade, considerando uma escala de 5 categorias, variando de 0 a 4. Cada categoria apresenta uma descrição relativa à significância do número. Note no enunciado da questão que a escala de dificuldade é decrescente, de forma que quanto mais próximo de 4 menor é a dificuldade (Figura 20).

Questão 03. Sobre os conceitos químicos apresentados na tabela abaixo, assinale seu grau de familiaridade e dificuldade. Considere as escalas:

Familiaridade:	Dificuldade:
0: nunca vi	0: desconheço
1: vi uma vez ou pouquíssimas vezes	1: muito difícil, compreendo apenas
2: estudei, mas lembro pouco	2: difícil, aplico com dificuldade
3: leio/uso o conceito de vez em quando	3: moderado, aplico facilmente
4: leio/uso o conceito com frequência	4: fácil, aplico e explico para outras pessoas

Figura 20: Enunciado da questão 3 do pré-teste aplicado aos alunos de pós-graduação.

A média da percepção de familiaridade em relação a todos os conceitos químicos avaliados na questão é 2,8, referente à categoria de familiaridade detalhada como “estudei, mas lembro pouco”. Enquanto a média de percepção de dificuldade em relação a todos os conceitos é 2,4, relativa à categoria de dificuldade descrita como “difícil, aplico com dificuldade”, conforme figura 21. O grau de familiaridade foi considerado baixo se menor que 2, médio se entre 2 e 3, e alto se acima de 3. Enquanto o grau de dificuldade foi considerado alto se menor que 2, médio se entre 2 e 3, e baixo se acima de 3.

Percepção dos alunos sobre o grau de dificuldade e de familiaridade com conceitos químicos

Figura 21: Percepção dos alunos sobre o grau de familiaridade e de dificuldade com os conceitos químicos avaliados pela questão 3 do pré-teste.

Os conceitos que apresentaram média de familiaridade entre os critérios 3 e 4 foram: monômero (3,3), ligação iônica (3,2), ligação covalente (3,2), solubilidade (3,3), ligação de hidrogênio (3,4) e interação eletrostática (3,0). De forma que, com relação a tais conceitos, a média da percepção dos alunos indica a categoria “leio/uso o conceito de vez em quando”. Sobre os demais conceitos, a média da percepção de familiaridade está entre as categorias 2 e 3, o que expressa que os alunos definem seu grau de familiaridade como: “estudei, mas lembro pouco”, descritivo da categoria 2.

O conceito de monômero foi o único que apresentou média da percepção de dificuldade entre 3 e 4, tendo sido 3,0, o que significa que os alunos determinam seu grau de dificuldade como: “moderado, aplico com facilidade”, descritivo da categoria 3. Além disso, este foi o segundo conceito que apresentou maior média de familiaridade 3,3. Os conceitos momento de dipolo e interações tipo empilhamento π , apresentaram respectivamente, 2,0 e 1,3 de média de percepção de dificuldade, sendo caracterizados pela categoria 1: “vi uma vez ou pouquíssimas vezes”. É importante salientar a importância de tais conceitos químicos para a compreensão das interações de empilhamento de bases, estabilidade da dupla hélice e da relação entre sequência de nucleotídeos e conformação de regiões específicas da dupla hélice.

Com relação à média de percepção de dificuldade com as interações tipo dipolo-dipolo induzido e dipolo-dipolo, obteve-se 2,2. Enquanto a familiaridade foi, respectivamente, 2,6 e 2,5. O conceito de ligação de hidrogênio apresentou a maior média de percepção de familiaridade 3,3 e média de percepção de dificuldade, 3,0.

2.3.1.3 Questão 1

A figura 22 apresenta a questão 1 (LOCS) em conjunto com o gráfico da frequência de preenchimento correto das 53 lacunas do texto, no intuito de possibilitar relacionar visualmente a porcentagem de acerto de cada lacuna com o contexto no qual a mesma está apresentada no texto. O texto apresenta entre colchetes os termos considerados corretos para o preenchimento de cada lacuna.

Os termos que apresentam asterisco (*) foram considerados alternativos, porém corretos, porque a construção da frase possibilitou que o termo determine sentido à mesma. No entanto, não são considerados os termos mais apropriados

para o preenchimento da lacuna e inclusive não estabelecem concordância gramatical à frase, embora determinem sentido, ou seja, façam com que a frase comunique um conceito bioquímico.

O texto da questão 1 foi desenvolvido de forma a apresentar o *corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”, isto é, os nove conceitos considerados fundamentais na abordagem do DNA como biopolímero. Inicialmente são abordados conceitos estruturais fundamentais e ao longo do texto aumenta o grau de complexidade do conteúdo.

Questão 01 - O texto a seguir contém lacunas. Indique o melhor conteúdo para completá-las dentre os listados abaixo, utilizando o número correspondente ao conteúdo escolhido. Se necessário, use um conteúdo mais de uma vez.

1 [adenina]	11 [empilhamento de bases]	21 [interação]
2 [água]	12 [fenda maior]	22 [ligações de hidrogênio]
3 [antiparalela]	13 [fenda menor]	23 [ligações fosfodiéster]
4 [base nitrogenada]	14 [fosfato]	24 [meio aquoso]
5 [cadeias poliméricas]	15 [fita]	25 [monômeros]
6 [cadeia]	16 [grupos químicos]	26 [oposta]
7 [cargas negativas]	17 [guanina]	27 [radical desoxirribosil]
8 [citosina]	18 [hidrofílico]	28 [sequência]
9 [conformação]	19 [hidrofóbico]	29 [sobreposição]
10 [direcionalidade]	20 [hidroxila]	30 [timina]

O B-DNA é composto por duas **[cadeias poliméricas/fita* (100%)]** associadas como uma dupla hélice, formadas por quatro **[monômeros (35%)]** distintos, denominados nucleotídeos. Em cada nucleotídeo identificam-se os seguintes grupos químicos: **[fosfato (100%)]**, **[radical desoxirribosil (82,61%)]**, e **[base nitrogenada (100%)]**. Estes últimos podem ser **[guanina (100%)]** (G), **[adenina (100%)]** (A), **[timina (100%)]** (T) ou **[citosina (100%)]** (C). A **[sequência (83%)]** de nucleotídeos no DNA codifica a informação genética e determinada a **[conformação (30%)]** de regiões específicas da dupla hélice. Numa cadeia, os nucleotídeos estão unidos por meio de ligações covalentes, denominadas **[ligações fosfodiéster (96%)]**, em que o grupo **[fosfato (70%)]** de um nucleotídeo está ligado ao carbono 5' de seu grupo desoxirribosil e ao carbono 3' do grupo desoxirribosil do nucleotídeo anterior e assim sucessivamente.

Essa ligação estabelece uma **[direcionalidade (35%)]** a cada **[cadeia polimérica (48%)]** em DNAs lineares, que inicia-se no grupo **[fosfato (53%)]** ligado ao carbono 5' do desoxirribosil do primeiro nucleotídeo e termina com um grupo **[hidroxila (57%)]** ligado ao carbono 3' do desoxirribosil do último nucleotídeo. A associação de duas **[cadeias poliméricas/fita*/cadeia*/base nitrogenada* (87%)]** ocorre por meio de **[ligações de hidrogênio (87%)]**, de forma que a **[adenina (83%)]** faz duas **[ligações de hidrogênio (83%)]** com a **[timina (83%)]** e a **[guanina (83%)]** faz três **[ligações de hidrogênio (83%)]** com a **[citosina (78%)]**. Em cada fita, bases nitrogenadas adjacentes, estabelecem o chamado **[empilhamento de bases (74%)]**, que são interações eletrostáticas favorecidas por: 1. comprimento próximo dos dois pares de bases AT e CG que favorece a **[sobreposição/interação* (65%)]** dos anéis planares das bases nitrogenadas adjacentes, 2. efeito **[hidrofóbico (65%)]** do meio aquoso sob as bases nitrogenadas que promove a **[interação/sobreposição* (70%)]** das bases adjacentes, diminuindo a exposição da base nitrogenada à **[água/meio aquoso* (83%)]**, estabelecendo o domínio **[hidrofóbico (70%)]** voltado para o interior da dupla hélice. Além disso, o meio aquoso da célula exerce um efeito **[hidrofílico (70%)]** sob o grupo fosfato que determina as **[cargas negativas (43%)]** do esqueleto fosfodiéster, as quais interagem com o **[meio aquoso (48%)]**, estabelecendo o domínio **[hidrofílico (48%)]** da dupla hélice. Portanto, o **[meio aquoso (39%)]** influencia no estabelecimento das interações eletrostáticas que estabilizam a dupla hélice, sendo elas as interações de **[empilhamento de bases (17%)]**, as **[ligações de hidrogênio (22%)]** e as interações entre as **[cargas negativas (39%)]** do grupo fosfato com o **[meio aquoso (39%)]** da célula. As duas **[cadeias poliméricas (70%)]** estão orientadas de forma **[antiparalela (70%)]** como consequência da orientação **[oposta (57%)]** de um nucleotídeo em relação ao outro no par de bases.

Figura 22: Questão 1 do pré-teste e desempenho no preenchimento correto das 53 lacunas apresentadas na questão.

*Termos considerados corretos, embora não sejam os mais adequados.

O aumento da complexidade pode ser verificado pela análise do gráfico (Figura 22) que permite visualizar a maior frequência de acerto das lacunas no início do texto, referentes aos seguintes conceitos estruturais básicos: a composição dos nucleotídeos, a união de nucleotídeos em uma mesma cadeia polimérica por meio de ligação fosfodiéster e o pareamento específico das bases nitrogenadas por meio de ligações de hidrogênio entre as duas cadeias poliméricas. A média de acerto das lacunas foi:

- i. 64%, considerando as 53 lacunas.
- ii. 46%, considerando as 20 lacunas referentes ao acerto dos nove conceitos fundamentais, os quais serão detalhados na próxima seção.

As lacunas que apresentaram menor porcentagem de acerto no início do texto, são referentes a três conceitos: i. a dependência da sequência de nucleotídeos para determinação de conformações de regiões específicas da dupla hélice, ii. a relação entre ligação fosfodiéster e a direcionalidade da cadeia polimérica e iii. a composição da cadeia polimérica pela união de vários monômeros, os nucleotídeos. Esses conceitos são claramente dependentes da compreensão do DNA como polímero, uma vez que se necessita entender que distintas sequências de monômeros resultam em diferentes forças de interação e consequentemente distintas conformações do duplo polímero.

Três conceitos mais complexos tiveram menor porcentagem de acerto das respectivas lacunas, sendo eles: i. a influência do meio aquoso na determinação dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice e na estabilidade da dupla hélice, ii. a relação entre as cadeias antiparalelas e a formação das fendas maior e menor, e iii. a interação de outras moléculas com tais fendas.

A legibilidade do texto, isto é, a capacidade do texto de se fazer compreender e de possibilitar uma apropriada interpretação para o correto preenchimento das lacunas, é evidenciada pela porcentagem de acerto do total de lacunas superior à 80% (tabela 5) alcançada por 9 estudantes (39%). A questão, emite palavras da frase de forma semelhante à técnica Cloze, desenvolvida por Taylor em 1953 (SANTOS, 2004) para avaliação da compreensão da leitura de um texto. Quando o leitor consegue fazer o preenchimento da lacuna com a palavra correta apresenta média de acerto superior à 57% é um indicativo de que o texto pode ser utilizado para favorecer a aprendizagem autônoma e independente. Por outro lado, quando

oa lacuna apresenta apenas 44% de preenchimento correto o texto está confuso e de difícil interpretação.

Tabela 5: Desempenho de cada estudante de pós-graduação na questão 1 (LOCS) em relação ao total de 53 lacunas.

Estudante	Número de lacunas corretas	Média de acerto
1	15	29%
2	44	85%
3	29	56%
4	30	58%
5	39	75%
6	38	73%
7	23	44%
8	46	88%
9	37	71%
10	46	88%
11	23	44%
12	29	56%
13	47	90%
14	42	81%
15	31	60%
16	41	79%
17	43	83%
18	15	29%
19	46	88%
20	15	29%
21	12	23%
22	46	88%
23	42	80%
Média 23 alunos	34	65%

A análise do texto será fragmentada em frases que por si só expressam conceitos bioquímicos, no intuito de melhor evidenciar o conhecimento prévio dos alunos em relação a cada um destes. Além disso, será destacada a média de acerto dos 23 estudantes em relação aos 9 conceitos avaliados simultaneamente no pré e

pós-teste, considerando que as médias do pré-teste serão posteriormente comparadas com as médias do pós-teste para avaliação do incremento na aprendizagem com o uso dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

A primeira frase do texto “O B-DNA é composto por duas [cadeias poliméricas/fita*] associadas como uma dupla hélice, formadas por quatro [monômeros] distintos, denominados nucleotídeos.”, possui 100% de acerto da primeira lacuna, sendo que 39% se refere ao uso do termo “cadeias poliméricas” e 60% ao termo “fita”. Note que o termo “fita” não está no plural, de forma que não estabelece concordância gramatical à frase, embora determine sentido. A escolha dos alunos em utilizar o termo “fita”, mesmo estando no singular, pode estar relacionada a uma maior familiaridade com o termo, em comparação com “cadeias poliméricas” que designam uma abordagem do DNA como biopolímero.

Com relação à segunda lacuna, referente ao termo “monômero”, houve apenas 35% de preenchimento correto. Dentre os termos incorretos utilizados para preenchimento desta lacuna, os prevalentes foram “grupos químicos” (6 alunos - 26%) e “base nitrogenada” (7 alunos - 30%). Isto é um indicativo de que o conceito de monômero e a abordagem do DNA como biopolímero não está bem fundamentada para esses estudantes. Além disso, a menor porcentagem de acerto do conceito de monômero é contraditória ao fato de este ter sido o que apresentou menor percepção de dificuldade (Figura 21), caracterizado como: “moderado, aplico com facilidade”, e segunda maior percepção de familiaridade, caracterizado como “leio/uso o conceito de vez em quando”.

O conceito sobre a composição dos nucleotídeos obteve 100% de acerto das lacunas, com exceção de 83% do termo “radical desoxirribosil”, apresentados na frase “Em cada nucleotídeo identificam-se os seguintes grupos químicos: [fosfato], [radical desoxirribosil], e [base nitrogenada]. Estes últimos podem ser [guanina] (G), [adenina] (A), [timina] (T) ou [citosina] (C).” Isto é um indicativo de que o conceito está bem compreendido pelos alunos.

Considerando a frase “A [sequência (83%)] de nucleotídeos no DNA codifica a informação genética e determinada a [conformação (30%)] de regiões específicas da dupla hélice.”, a utilização correta do termo “sequência” por 83% dos alunos, indica a existência do conhecimento prévio a respeito do conceito de que a sequência de nucleotídeos no DNA codifica a informação genética. Porém, em relação ao conceito de que a sequência de nucleotídeos determina a conformação de regiões específicas da dupla hélice, apenas 30% preencheram corretamente a lacuna com o termo “conformação”. Dessa forma, apenas 6 (26%) estudantes estabeleceram sentido completo à frase, isto é, preencheram a primeira lacuna com “sequência” ou “fita” e a segunda lacuna com o termo “conformação”, de forma a acertar o primeiro conceito avaliado simultaneamente no pré e pós-teste, que consiste em a conformação de uma região da dupla hélice depender da sequência de nucleotídeos. Na frase existe um erro de português, estando escrito “determinada” no lugar de “determina”, porém, não se considera que o erro seria motivo de confusão para o preenchimento incorreto da lacuna.

Com relação ao conceito estrutural de que dois nucleotídeos estão unidos em uma mesma fita por meio de ligação fosfodiéster, existe uma indicação de que o conceito está bem fundamentado, considerando o preenchimento correto de 96% da

lacuna referente ao termo “ligação fosfodiéster” e 70% do termo “fosfato”, apresentados na frase: “Numa cadeia, os nucleotídeos estão unidos por meio de ligações covalentes, denominadas [ligações fosfodiéster], em que o grupo [fosfato] de um nucleotídeo está ligado ao carbono 5’ de seu grupo desoxirribosil e ao carbono 3’ do grupo desoxirribosil do nucleotídeo anterior e assim sucessivamente.” No entanto, o conceito de que a ligação fosfodiéster determina a direcionalidade 5’-3’ da cadeia polimérica, apresenta baixa porcentagem de acerto, conforme apenas 35% preencheram corretamente o termo “direcionalidade” na frase “Essa ligação estabelece uma [direcionalidade] a cada [cadeia polimérica] em DNAs lineares, que se inicia no grupo [fosfato] ligado ao carbono 5’ do desoxirribosil do primeiro nucleotídeo e termina com um grupo [hidroxila] ligado ao carbono 3’ do desoxirribosil do último nucleotídeo.

Portanto, o segundo conceito avaliado simultaneamente no pré e pós-teste, de que a ligação fosfodiéster determina a direcionalidade 5’-3’ da cadeia polimérica, apresenta baixa porcentagem de acerto, considerando que apenas 8 estudantes (35%) preencheram corretamente as lacunas com os termos “ligação fosfodiéster”, “direcionalidade” e “cadeia polimérica”, completando a frase de forma a estabelecer o conceito: “Numa cadeia, os nucleotídeos estão unidos por meio de ligações covalentes, denominadas [ligação fosfodiéster], [...] que estabelece uma [direcionalidade] a cada [cadeia polimérica] em DNAs lineares, [...].”

O conceito estrutural de associação das duas cadeias poliméricas por meio de ligações de hidrogênio com base em um pareamento específico de bases nitrogenadas, adenina com timina e guanina com citosina, é um conhecimento prévio bem fundamentado entre estes alunos. Isto pode ser verificado pelas altas

porcentagens de acerto das 8 lacunas na seguinte frase, com mínimo de 83% e máximo de 87%: “A associação de duas [cadeias poliméricas/fita*/cadeia*/base nitrogenada*] ocorre por meio de [ligações de hidrogênio], de forma que a [adenina] faz duas [ligações de hidrogênio] com a [timina] e a [guanina] faz três [ligações de hidrogênio] com a [citosina].” Em relação ao preenchimento da primeira lacuna, a frequência de uso dos termos foi “fita” 30% e “base nitrogenada” 9%, enquanto a frequência conjunta de uso dos termos “cadeias poliméricas” e “cadeia” foi de 48%, resultando em 87% de preenchimento correto da lacuna.

A união das cadeias poliméricas por meio de ligações de hidrogênio é o terceiro conceito avaliado simultaneamente no pré e pós-teste, sendo o conceito com maior porcentagem de acerto no pré-teste, 83%. Isto está relacionado ao entendimento químico da ligação de hidrogênio pelos alunos, visto que apresentou a maior média de percepção de familiaridade 3,35 e a segunda menor percepção de dificuldade, expressa pela média 2,96.

O quarto conceito avaliado em ambos pré e pós-teste, está apresentado na frase: “Em cada fita, bases nitrogenadas adjacentes, estabelecem o chamado [empilhamento de bases (74%)], que são interações eletrostáticas favorecidas por: 1. comprimento próximo dos dois pares de bases AT e CG que favorece a [sobreposição/interação* (65%)] dos anéis planares das bases nitrogenadas adjacentes, [...]”. Considerando o preenchimento correto das duas lacunas pelo mesmo estudante, a média de acerto do conceito pelos 23 alunos foi 61%, o que demonstra uma compreensão mediana da importância de os pares de bases AT e CG terem aproximadamente o mesmo comprimento para o estabelecimento das interações de empilhamento de bases.

A influência do meio aquoso da célula na determinação dos domínios hidrofóbico e hidrofílico apresentam, respectivamente, o quinto e o sexto conceitos avaliados em ambos pré e pós-teste. A influência do meio aquoso da célula na determinação do domínio hidrofóbico da dupla hélice apresentou 52% de acerto, considerando apenas as duas lacunas preenchidas com o termo “hidrofóbico” na frase: “[...] 2. efeito [hidrofóbico (65%)] do meio aquoso sobre as bases nitrogenadas que promove a [interação/sobreposição* (70%)] das bases adjacentes, diminuindo a exposição da base nitrogenada à [água/meio aquoso* (83%)], estabelecendo o domínio [hidrofóbico (70%)] voltado para o interior da dupla hélice.” A influência do meio aquoso da célula na determinação do domínio hidrofílico apresentou 43% de acerto, considerando apenas as duas lacunas preenchidas com o termo “hidrofílico” na frase: “Além disso, o meio aquoso da célula exerce um efeito [hidrofílico (70%)] sob o grupo fosfato que determina as [cargas negativas (43%)] do esqueleto fosfodiéster, as quais interagem com o [meio aquoso (48%)], estabelecendo o domínio [hidrofílico (48%)] da dupla hélice.” Caso as quatro lacunas de cada frase fossem consideradas no cálculo da média de acerto da influência do meio aquoso da célula na determinação dos domínios hidrofóbico e hidrofílico, obter-se-ia, respectivamente, 35% e 50% de acerto dos conceitos. Esse procedimento foi adotado no intuito de amenizar algum problema de interpretação do texto que poderia dificultar o preenchimento correto das lacunas da frase, mesmo considerando a inteligibilidade do texto evidenciada pelo preenchimento correto das lacunas, superior à 80% (tabela 5) alcançado por 9 estudantes (39%).

O sétimo conceito avaliado em ambos pré e pós-teste, referente a influência do meio aquoso na estabilidade da dupla hélice, obteve apenas 39% de média de

acerto. Neste caso foi considerado apenas a média de acerto do termo “meio aquoso” da primeira lacuna da frase: “Portanto, o [meio aquoso - 39%] influência no estabelecimento das interações eletrostáticas que estabilizam a dupla hélice, sendo elas as interações de [empilhamento de bases - 17%], as [ligações de hidrogênio - 22%] e as interações entre as [cargas negativas - 39%] do grupo fosfato com o [meio aquoso - 39%] da célula.” Foi avaliada apenas a porcentagem de acerto da primeira lacuna porque as demais são apenas um detalhamento das interações que estabilizam a dupla hélice, o qual não foi enfatizado no pós-teste, que avaliou a aprendizagem do conceito pela indicação da concordância ou discordância com a frase “O meio aquoso da célula não é importante para a estabilidade da dupla hélice.”, conforme será analisado na sessão de comparação pré e pós-teste. Caso as cinco lacunas fossem consideradas, a média de acerto do conceito 7 no pré-teste seria 37%. Portanto, o aumento na porcentagem de acerto dos conceitos 5, 6 e 7, beneficia a porcentagem de acerto dos 9 conceitos no pré-teste, elevando-a acima da porcentagem real que seria obtida caso considerasse todas as lacunas da frase referente a determinado conceito.

O conceito estrutural de que as cadeias poliméricas são antiparalelas, apresenta as seguintes porcentagens de preenchimento correto das lacunas na frase: As duas [cadeias poliméricas (70%)] estão orientadas de forma [antiparalela (70%)] como consequência da orientação [oposta (57%)] de um nucleotídeo em relação ao outro no par de bases. Com relação à frase “Dessa forma, uma cadeia polimérica está orientada na direção 5'→ 3' e a outra na direção 3'→ 5', de forma que as extremidades superior e inferior da dupla hélice apresentam, respectivamente,

um grupo [fosfato (57%)] ligado ao carbono 5' e um grupo [hidroxila (57%)] ligado ao carbono 3'.”, as baixas médias de acerto das lacunas estão relacionadas à baixa porcentagem (35%) de acerto da lacuna “direcionalidade” na frase do início do texto: “Essa ligação estabelece uma [direcionalidade] a cada [cadeia polimérica] em DNAs lineares [...]”. A compreensão desses conceitos é intrínseca ao entendimento do DNA como biopolímero constituído por resíduos de monômeros, de forma que as extremidades das cadeias apresentam terminações distintas.

O oitavo conceito avaliado no pré e pós-teste consiste na relação entre a orientação oposta das cadeias e a determinação de fendas na superfície da dupla hélice, expresso na frase: “A orientação [antiparalela (61%)] das duas cadeias de DNA resulta na formação de dois padrões estruturais que se repetem ao longo da dupla hélice, a [fenda maior (74%)] e a [fenda menor (78%)]”. A média de acerto do conceito considerando o preenchimento correto das três lacunas da frase, por aluno, é 57%.

Com relação à frase “Esses padrões estruturais expõem [grupos químicos (35%)] das bases nitrogenadas que interagem por meio de [ligações de hidrogênio (22%)] com outras moléculas presentes na célula, como por exemplo, proteínas.”, observa-se que as baixas porcentagens de acerto das lacunas podem estar relacionadas à não familiaridade dos alunos com o termo “grupos químicos”.

O nono conceito apresentado simultaneamente no pré e pós-teste, consiste no reconhecimento de sequência específica poder envolver a fenda menor da dupla hélice, conforme expresso na frase: “Em geral, proteínas que fazem reconhecimento de sequência específica de nucleotídeos interagem com os [grupos químicos (22%)]

expostos na [fenda maior (22%)] da dupla hélice, porém algumas proteínas interagem com a [fenda menor (22%)].” Este conceito apresentou 13% de acerto, de forma que apenas 3 indivíduos conseguiram preencher corretamente as três lacunas da frase.

2.3.2 Análise descritiva do questionário de pós-teste

Questão 1

A questão 1 solicita a indicação do grau de concordância em relação às 17 afirmações apresentadas na figura 23, utilizando a mesma adaptação da escala de Likert do questionário de percepção com quatro categorias (DF: discordo fortemente, D: discordo, C: concordo, CF: concordo fortemente).

Questão 01. As afirmações a seguir discorrem sobre a estrutura molecular do B-DNA, sua estabilidade e interação com biomoléculas. Você concorda ou discorda das afirmações? Assinale seu grau de concordância com cada afirmação usando as categorias abaixo:

DF: discordo fortemente

D: discordo

C: concordo

CF: concordo fortemente

Afirmações	DF	D	C	CF
A associação das duas cadeias poliméricas ocorre por meio de ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas complementares.				
A ligação fosfodiéster determina a direcionalidade 3'→5' de cada cadeia polimérica.				
A orientação antiparalela das duas cadeias poliméricas resulta na formação da fenda menor e da fenda maior.				
O fato dos pares de bases AT e CG terem comprimentos próximos não interfere nas interações de empilhamento de bases.				
A co-planaridade dos pares de base não é relevante para estabilizar a associação das cadeias de DNA.				
O empilhamento de bases favorece as ligações de hidrogênio entre pares de bases em relação as ligações de hidrogênio entre cada base e a água.				
As interações eletrostáticas que estabilizam a dupla hélice são favorecidas pela conformação do esqueleto fosfodiéster.				
As interações de empilhamento de bases contribuem mais para a estabilidade da dupla hélice do que as ligações de hidrogênio entre pares de bases.				
O meio aquoso da célula não é importante para a estabilidade da dupla hélice.				
O meio aquoso da célula determina a formação dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.				
Em cada fita, as bases nitrogenadas estão sobrepostas, porém desalinhadas.				
Alterações na estrutura da dupla hélice não influenciam no reconhecimento de sequências específicas por proteínas.				
O reconhecimento de sequência específica sempre envolve a fenda maior.				
Interações entre a proteína com as cargas negativas dos grupos fosfato auxiliam na estabilidade do complexo proteína-DNA.				
O empilhamento de bases não depende da sequência de nucleotídeos.				
As interações de empilhamento entre bases adjacentes é mais forte entre dG e dC do que entre dT e dA.				
A conformação de uma região da dupla hélice depende da sequência de nucleotídeos.				

Figura 23: Enunciado da questão 1 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de pós-graduação.

Todos os conceitos apresentados nas afirmativas foram explicados nos tutoriais, de forma que requer memória e compreensão (Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem – LOCS), tendo como objetivo avaliar o papel do tutorial em auxiliar os estudantes a aprenderem tais conteúdos ao comparar com as respostas do pré-teste. A resposta correta para as afirmativas (1,3,6,7,8,10,14,16 e 17) é a indicação

de C e CF, enquanto para as afirmativas (2,4,5,9,11,12,13 e 15) é a seleção de D e DF. A média de acerto das 17 afirmações é 75% (Figura 24), sendo superior à média de acerto das 53 lacunas da questão 1 do pré-teste, 64% (Figura 22).

Figura 24: Desempenho na questão 1 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de pós-graduação.

Dentre as 17 afirmativas, 8 apresentam conceitos que foram requisitados no pré-teste e serão discutidos na próxima seção destinada a comparar pré e pós-teste. Nesta seção serão discutidas as médias de acerto referentes aos conceitos que não estão explicitamente abordados no pré-teste, apresentados pelas demais 9 afirmações (5,6,7,8,11,12,14,15 e 16). Tais conceitos não foram explicitamente abordados no pré-teste por extrapolarem o *corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e estabilidade do DNA” que se desejava avaliar com a atividade, sendo mais complexos e detalhados apenas no tutorial “Estabilidade do DNA”. A maior

complexidade dos conceitos apresentados nas 9 afirmativas fica evidente pela menor média de acerto destas, 71%, em comparação com 75% de média de acerto total da questão (17 afirmativas), e com a média de acerto 82% das 8 afirmações referentes ao *corpus* conceitual, comparativo do pré e pós-teste.

Considerando que não é possível estabelecer uma comparação direta da aprendizagem desses conceitos com os conhecimentos prévio dos estudantes, é possível apenas inferir a influência do uso dos tutoriais na média de acerto destes, isto é, na aprendizagem dos conceitos. Essa inferência é suplantada pelo fato de que apenas 3 (afirmações 8, 11 e 15) das 9 afirmações não avaliadas diretamente no pós-teste e pré-teste simultaneamente, obtiveram média de acerto inferior à 50%, o que indica que a aprendizagem dos demais 6 conceitos está bem fundamentada, sendo em virtude da utilização dos tutoriais ou não.

Em relação à afirmação 11, “Em cada fita, as bases nitrogenadas estão sobrepostas, porém desalinhadas.”, houve apenas 39% de média de acerto. Esse conceito foi explicado na 5ª unidade conceitual do tutorial “Estabilidade do DNA” que responde à pergunta: “O que influencia o estabelecimento das interações entre o esqueleto fosfodiéster e o solvente celular?”. Embora na resposta à pergunta não seja usado explicitamente o termo “bases nitrogenadas desalinhadas”, é explicada a torção das ligações covalentes do esqueleto fosfodiéster, que favorece a diminuição da repulsão entre as cargas negativas dos grupos fosfato de nucleotídeos sucessivos. Isto implica em um ângulo de giro da hélice e conseqüentemente no desalinhamento das bases nitrogenadas sobrepostas. O fato de o termo não ter sido usado explicitamente pode ter dificultado a compreensão do conceito e a subsequente baixa porcentagem de acerto da afirmação 11. Além disso, avalia-se

que a baixa média poderia estar relacionada a não compreensão de conceitos de interações eletrostática, o qual apresentou 2,6 de média de dificuldade na questão 3 do pré-teste (Figura 21), o que limita o entendimento de estruturas moleculares.

O conceito de que o empilhamento de bases entre nucleotídeos sobrepostos é dependente da sequência de nucleotídeos, está apresentado na afirmação 15, sendo a explicação detalhada na afirmação 16, “As interações de empilhamento entre bases adjacentes é mais forte entre dG e dC do que entre dT e dA.”, a qual obteve 70% de média de acerto. Isto é um indicativo da compreensão do conceito de que a força das interações de empilhamento de bases depende de quais bases nitrogenadas estão interagindo, visto que cada base possui aromaticidade e momentos de dipolo específicos. Esse conceito foi explicitado na última unidade conceitual do tutorial “Estabilidade do DNA”, por meio da seguinte frase: “Por exemplo, guanina sobreposta com citosina, é mais estável do que adenina sobreposta a timina, visto que as interações de dipolo-dipolo e dipolo-dipolo induzido, que ocorrem entre os anéis aromáticos das bases nitrogenadas G e C sobrepostas são mais fortes do que as que ocorrem entre A e T sobrepostas.”

Apesar de 70% dos estudantes compreenderem que as interações de empilhamento de bases depende de quais bases estão interagindo, houve apenas 48% de acerto da afirmação 15, ou seja, discordância em relação à seguinte frase que expressa o mesmo conceito: “O empilhamento de bases não depende da sequência de nucleotídeos.” Portanto, houve uma maior porcentagem de acerto da afirmação 16 (70%), em princípio mais complexa e detalhada do que a afirmação 15 (48%).

A relação entre empilhamento de bases e a formação de ligações de hidrogênio é expressa nas frases 5 e 6. A frase 5, “A co-planaridade dos pares de base não é relevante para estabilizar a associação das cadeias de DNA.”, obteve 91% de média de acerto do conceito. A discordância em relação à afirmação indica que os alunos compreendem a importância da co-planaridade dos pares de base para estabilizar a dupla hélice e possivelmente relacionam com o favorecimento da formação de ligações de hidrogênio. A afirmação 6, “O empilhamento de bases favorece as ligações de hidrogênio entre pares de bases em relação às ligações de hidrogênio entre cada base e a água.”, obteve 74% de acerto.

Com relação a afirmação 8, “As interações de empilhamento de bases contribuem mais para a estabilidade da dupla hélice do que as ligações de hidrogênio entre pares de bases”, mesmo após o uso dos tutoriais a porcentagem de acerto desse conceito foi baixa, apenas 39%. Isso ocorreu mesmo com a presença de uma unidade conceitual “O que estabiliza a dupla hélice do DNA?”, presente em ambos os tutoriais, na qual é explicitamente dito “As interações de empilhamento de bases contribuem mais para a estabilidade da dupla hélice do que as ligações de hidrogênio entre pares de bases.”. A não sensibilização dos estudantes pelo conceito correto possibilitou evidenciar que o conceito errôneo de que as ligações de hidrogênio entre os pares de bases é a principal determinante da estabilidade da dupla hélice é um conceito muito arraigado e difícil de ser removido. Dessa forma, esse conceito foi novamente avaliado na aplicação com os alunos de graduação, no intuito de verificar a existência de tal erro conceitual.

O conceito expresso pela frase 7, “As interações eletrostáticas que estabilizam a dupla hélice são favorecidas pela conformação do esqueleto

fosfodiéster.”, obteve 100% de acerto. Este conceito é enfatizado na segunda unidade conceitual do tutorial “Estabilidade do DNA”, que responde à pergunta “Quais fatores favorecem o estabelecimento das interações não covalentes que estabilizam a dupla hélice?”. A resposta à pergunta consiste em determinar a conformação do esqueleto fosfodiéster como um determinante para as interações eletrostáticas que estabilizam a dupla hélice, em conjunto com o meio aquoso. A conformação do esqueleto fosfodiéster é explorada nas animações referentes à: i. a conformação anti da ligação N-beta-glicosídica, ii. a conformação C2' endo do anel da desoxirribose; e iii. à distância de 0.34 nm entre os anéis planares de bases nitrogenadas adjacentes.

A frase 14, “Interações entre a proteína com as cargas negativas dos grupos fosfato auxiliam na estabilidade do complexo proteína-DNA.”, obteve 91% de média de acerto. Esse conceito foi abordado nas animações dos complexos entre TBP/DNA e Gal4/DNA, os quais salientam quais resíduos de aminoácidos das proteínas interagem com o esqueleto fosfodiéster durante o reconhecimento de sequência específica. Além disso, o tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” apresentou o conceito em duas unidades conceituais:

1. Unidade conceitual 6, destinada a responder a pergunta “Como são estabelecidos os domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice?”. Na resposta fala-se a respeito das interações das histonas com o esqueleto fosfodiéster na seguinte frase: “As cargas negativas dos grupos fosfato são importantes na interação de proteínas com o DNA, um exemplo são as interações iônicas entre as histonas e o DNA que estão envolvidas na formação do nucleossomo, a unidade fundamental da cromatina.”

2. Unidade conceitual 11, destinada a responder a pergunta “Como é feito o reconhecimento de sequências específicas de nucleotídeos por proteínas?”. A resposta inicia-se com “O reconhecimento de sequências específicas de nucleotídeos por proteínas envolve o padrão de ligações de hidrogênio estabelecido entre resíduos de aminoácidos com os grupos químicos aceptores e doadores de hidrogênio expostos nas fendas, uma vez que as interações eletrostáticas com o esqueleto fosfodiéster são comuns a qualquer sequência.”

O conceito da afirmativa 12, “Alterações na estrutura da dupla hélice não influenciam no reconhecimento de sequências específicas por proteínas”, obteve 83% de acerto. Esse conceito foi evidenciado pela comparação das interações entre a proteína de ligação ao TATAbox e a proteína Gal4 de ligação.

Questão 2

A questão 2 do pós-teste (Figura 25), denominada Q2-HOCS-Pós, requisita Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (HOCS) para a resolução de um problema não familiar e cuja resposta não estava explícita no tutorial, de forma que há maior dificuldade na sua resolução.

Questão 02. Pares de bases diferentes de pares A-T e C-G tendem a alterar a conformação local da dupla hélice B-DNA. A figura abaixo apresenta informações sobre alguns pares de bases, sendo que todos eles apresentam o mesmo comprimento:

Considere os três fragmentos distintos de DNA:

Fragmento A:

Fragmento B:

Fragmento C:

Analise a sequência de nucleotídeos dos três fragmentos de DNA (A,B e C). Classifique as afirmações a seguir em verdadeiro ou falso:

1. Dentre os três segmentos de DNA, a amostra B apresenta maior deformação da conformação B-DNA. ☐
2. Os pares de bases Diaminopurina-Timina e Hipoxantina-Citosina não adotam a conformação B-DNA porque estabelecem um padrão de interações de empilhamento de bases distinto em relação aos pares de bases A-T e C-G. ☐
3. Os pares de bases Diaminopurina-Timina e Hipoxantina-Citosina não adotam a conformação B-DNA porque a aromaticidade da Diaminopurina é distinta da Guanina e a aromaticidade da adenina é distinta da Hipoxantina. ☐
4. Os três segmentos de DNA adotam conformações da dupla hélice que possuem mesmo diâmetro. ☐
5. Os três segmentos de DNA adotam conformações da dupla hélice que possuem o mesmo padrão de fenda maior e menor. ☐

Figura 25: Enunciado da questão 2 (HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de pós-graduação.

A questão objetiva que os alunos avaliem a interferência da existência de pares de bases distintos do padrão Watson e Crick (AT e CG) na conformação da dupla hélice B-DNA. Para tal a questão apresenta 4 pares de bases muito semelhantes, informa que os quatro possuem o mesmo comprimento, além de

mostrar 3 fragmentos de DNA fictícios, sendo que o fragmento A possui apenas pares de bases AT e CG, enquanto o fragmento B e C, possuem respectivamente, 1 e 3 pares de bases não padrão. Para responder a questão os alunos precisam quebrar o problema em seus componentes fundamentais, ou seja, analisar os fragmentos de DNA separadamente e compará-los, utilizando os seguintes conhecimentos prévios apresentados no tutorial:

i. O conceito de que a conformação de uma região da dupla hélice depende da sequência de nucleotídeos, o qual foi avaliado pela afirmativa 17 apresentada na questão 1 do pós-teste, tendo obtido 70% de acerto.

ii. O conceito de que o empilhamento de bases depende da sequência de nucleotídeos, conforme avaliado na afirmativa 15 apresentada na questão 1 do pós-teste que obteve 48% de acerto.

iii. O conceito de que os pares de bases AT e CG possuem comprimentos próximos estando as bases nitrogenadas empilhadas e próximas interagindo entre si. Esse conceito foi avaliado na afirmativa “O fato dos pares de bases AT e CG terem comprimentos próximos interfere nas interações de empilhamento de bases.”, a qual foi apresentada na questão 1 do pós-teste, tendo obtido 70% de acerto. Considerando o comprimento próximo, os três fragmentos de DNA determinariam uma dupla hélice de mesmo diâmetro, de forma que a substituição dos pares AT/CG por DAP-T/I-C continuaria a manter as bases nitrogenadas sobrepostas e estabelecendo interações de empilhamento de bases, o que a princípio poderia não alterar a conformação da dupla hélice. No entanto, as bases DAP e I possuem diferentes momentos de dipolo e por consequência estabelecem um padrão de

interações de empilhamento de bases distinto do adotado pelos pares AT e CG, o que tende a resultar em alterações da conformação local da dupla hélice.

iv. Pares de bases AT e CG determinam a conformação da dupla hélice B-DNA.

v. A largura e a profundidade das fendas varia de acordo com a sequência de nucleotídeos.

Portanto, a questão exige que os alunos compreendam conceitos relacionados à abordagem do DNA como biopolímero, sendo a conformação dependente da sequência e dos tipos monômeros que estão interagindo, o mesmo vale para a estabilidade do polímero que não foi retratada nessa questão.

A média de acerto dos 23 indivíduos foi 62% (Figura 26), sendo que 18 apresentaram mais de 60% de desempenho, ou seja, acertaram 3 dentre as cinco afirmações de verdadeiro ou falso.

Figura 26: Desempenho na questão 2 (HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de pós-graduação.

A maior dificuldade da questão está evidenciada no comentário do estudante 11: “A pergunta da questão 2 não foi explicada no tutorial, se é um pós-teste, acho que fez falta ênfase nesse ponto no tutorial.” O comentário do estudante também salienta um problema recorrente no ensino que consiste em os alunos estarem habituados a apenas responder na prova aquilo que foi explicado em sala de aula,

ou seja, questões que requisitam Habilidades de Baixa Ordem Cognitiva (ZOLLER), majoritariamente nos níveis de conhecimento e compreensão da Taxonomia de Bloom dos objetivos educacionais.

2.3.3 Análise comparativa dos questionários de pré-teste e pós-teste

2.3.3.1 Avaliação do *corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”: 9 conceitos

Em virtude da diferente formulação das questões LOCS do pré-teste e pós-teste, foi estabelecida uma relação da forma de avaliação dos 9 conceitos fundamentais, ou seja, o *corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”. A tabela 6 apresenta: i. os 9 conceitos fundamentais apresentados na tabela 1, ii. avaliação dos 9 conceitos no pré-teste, que consiste no preenchimento de 20 dentre as 53 lacunas do pré-teste, e iii. concordância ou discordância em relação a 8 das 17 afirmações conceituais do pós-teste. Note que são consideradas apenas 8 e não 9 afirmativas do pós-teste porque a afirmativa “O meio aquoso da célula determina a formação dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice” está relacionada a duas frases do pré-teste, conforme as linhas 5 e 6 da tabela 6. Define-se a nomenclatura dos nove conceitos como 9conceitos-Q1-LOCS, em função de estabelecerem uma comparação entre as questões 1 do pré e pós-teste, que requisitam habilidades LOCS.

Conforme mencionado anteriormente as quatro lacunas marcadas com asterisco (*), referentes aos termos “interação, água, cargas negativas e meio aquoso”, foram desconsideradas na determinação de erro ou acerto do conceito no pré-teste. Isto se deve ao menor detalhamento da afirmação no pós-teste, em comparação com as sentenças 5 e 6 do pré-teste. Dessa forma, foi comparado apenas o preenchimento das lacunas cujos termos são apresentados na afirmação

do pós-teste, com os termos “hidrofóbico” para conceito 5 e “hidrofílico” para o conceito 6. Além disso, a ordem dos 9 conceitos apresentados na tabela está apresentada seguindo a sequência de apresentação destes na questão 1 do pré-teste (coluna 2).

Tabela 6: *Corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”, que foi avaliado na atividade com a pós-graduação.

	Conceitos do DNA como biopolímero apresentados no tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” (9conceitos-Q1-LOCS)	Questão 1 pré-teste: selecionar o termo correto para o preenchimento das lacunas (9conceitos-Q1-LOCS-Pré)	Questão 1 pós-teste: grau de concordância/discordância com as afirmativas. (9conceitos-Q1-LOCS-Pós)
1	A distinta força de interação entre os diferentes monômeros sobrepostos influencia na estrutura tridimensional do biopolímero de DNA. Portanto, a conformação de uma região da dupla hélice depende da sequência de nucleotídeos.	A <u>[sequência]</u> de nucleotídeos no DNA codifica a informação genética e determina a <u>[conformação]</u> de regiões específicas da dupla hélice.	A conformação de uma região da dupla hélice depende da sequência de nucleotídeos.
2	Dois monômeros estão unidos em uma mesma cadeia polimérica do DNA por meio de uma ligação covalente denominada ligação fosfodiéster. Está ligação determina a direcionalidade 3’->5’ de cada cadeia polimérica.	Numa cadeia, os nucleotídeos estão unidos por meio de ligações covalentes, denominadas <u>[ligação fosfodiéster]</u> , que estabelece uma <u>[direcionalidade]</u> a cada <u>[cadeia polimérica]</u> em DNAs lineares.	A ligação fosfodiéster determina a direcionalidade 3’->5’ de cada cadeia polimérica.
3	A associação das duas cadeias poliméricas de DNA ocorre por meio de ligações não covalentes, as ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas complementares AT e CG.	A associação de duas <u>[cadeias poliméricas]</u> ocorre por meio de <u>[ligações de hidrogênio]</u> .	A associação das duas cadeias poliméricas ocorre por meio de ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas complementares.

	Conceitos do DNA como biopolímero apresentados no tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” (9conceitos-Q1-LOCS)	Questão 1 pré-teste: selecionar o termo correto para o preenchimento das lacunas (9conceitos-Q1-LOCS-Pré)	Questão 1 pós-teste: grau de concordância/discordância com as afirmativas. (9conceitos-Q1-LOCS-Pós)
4	As interações não covalentes entre monômeros sobrepostos é favorecida pelo comprimento próximo dos pares de monômeros dA-dT e dC-dG.	Em cada fita, bases nitrogenadas adjacentes, estabelecem o chamado <u>[empilhamento de bases]</u> que são interações eletrostáticas favorecidas por: 1. comprimento próximo dos dois pares de bases AT e CG que favorece a <u>[sobreposição]</u> dos anéis planares das bases nitrogenadas adjacentes.	O fato dos pares de bases AT e CG terem comprimentos próximos não interfere nas interações de empilhamento de bases.
5	O meio aquoso da célula influencia a estrutura do biopolímero há medida que interage de forma distinta com as partes hidrofílica (fosfato) e hidrofóbica (base nitrogenada) de cada monômero, determinando a formação, respectivamente, dos domínio hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.	O efeito <u>[hidrofóbico]</u> do meio aquoso sob as bases nitrogenadas que promove a [interação]* das bases adjacentes, diminuindo a exposição da base nitrogenada à [água]*, estabelecendo o domínio <u>[hidrofóbico]</u> voltado para o interior da dupla hélice.	O meio aquoso da célula determina a formação dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.
6	O meio aquoso influência no estabelecimento das interações não covalentes que em conjunto estabilizam a dupla hélice. Entre monômeros adjacentes na mesma cadeia, as interações de empilhamento de bases, entre	Além disso, o meio aquoso da célula exerce um efeito <u>[hidrofílico]</u> sob o grupo fosfato que determina as [cargas negativas]* do esqueleto fosfodiéster, as quais interagem com o [meio aquoso]*,	O meio aquoso da célula determina a formação dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.

	monômeros em cadeias complementares, as ligações de hidrogênio, e entre os grupos fosfato negativamente carregados com moléculas de água e íons.	estabelecendo o domínio <u>[hidrofílico]</u> da dupla hélice.	
	Conceitos do DNA como biopolímero apresentados no tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” (9conceitos-Q1-LOCS)	Questão 1 pré-teste: selecionar o termo correto para o preenchimento das lacunas (9conceitos-Q1-LOCS-Pré)	Questão 1 pós-teste: grau de concordância/discordância com as afirmativas. (9conceitos-Q1-LOCS-Pós)
7	O meio aquoso influencia no estabelecimento das interações não covalentes que em conjunto estabilizam a dupla hélice. Entre monômeros adjacentes na mesma cadeia, as interações de empilhamento de bases, entre monômeros em cadeias complementares, as ligações de hidrogênio, e entre os grupos fosfato negativamente carregados com moléculas de água e íons.	Portanto, o <u>[meio aquoso]</u> influencia no estabelecimento das interações eletrostáticas que estabilizam a dupla hélice.	O meio aquoso da célula não é importante para a estabilidade da dupla hélice.
8	A orientação antiparalela dos pares de monômeros determina a orientação antiparalela do duplo polímero e a subsequente formação de padrões estruturais, fenda maior e menor.	A orientação <u>[antiparalela]</u> das duas cadeias de DNA resulta na formação de dois padrões estruturais que se repetem ao longo da dupla hélice, a <u>[fenda maior]</u> e a <u>[fenda menor]</u> .	A orientação antiparalela das duas cadeias poliméricas resulta na formação da fenda menor e da fenda maior.
9	Determinada sequência de monômeros pode resultar numa fenda menor mais “alargada” que serve como sítio de reconhecimento de sequência	Em geral, proteínas que fazem reconhecimento de sequência específica de nucleotídeos interagem com os <u>[grupos químicos]</u> expostos na <u>[fenda</u>	O reconhecimento de sequência específica sempre envolve a fenda maior.

	específica por proteínas. De forma que o reconhecimento de sequência específica não envolve sempre a fenda maior.	<u>maior</u> da dupla hélice, porém algumas proteínas interagem com a <u>fenda menor</u> .	
--	---	--	--

* 4 lacunas cujo preenchimento não foi considerado para determinar se o estudante acertou ou errou o conceito.

O acerto do conceito no pré-teste foi considerado apenas quando todas as lacunas apresentadas em uma mesma sentença foram preenchidas corretamente. Por exemplo, o acerto do conceito 4 é subjacente ao preenchimento correto de ambas as lacunas na frase: “Em cada fita, bases nitrogenadas adjacentes, estabelecem o chamado [empilhamento de bases (74%)], que são interações eletrostáticas favorecidas por: 1. comprimento próximo dos dois pares de bases AT e CG que favorece a [sobreposição/interação* (65%)] dos anéis planares das bases nitrogenadas adjacentes, [...]”. Dessa forma, 61% estudantes acertaram ambas as lacunas e estabeleceram sentido completo à frase, isto é, evidenciando a compreensão de que comprimento o próximo dos pares de bases AT e CG sobrepõe as bases em uma mesma cadeia polimérica e, portanto, interfere nas interações de empilhamento de bases.

A média de acerto dos 9 conceitos no pré-teste, denominada 9conceitos-Q1-LOCS-Pré, foi calculada considerando o número de conceitos corretos dentre o máximo possível, isto é, 9 frases do texto com preenchimento de todos os termos corretos (tabela 6). O acerto do conceito no pós-teste se deve à seleção apropriada de concordância ou discordância em relação a cada uma das 8 afirmações. A média de acerto dos 9 conceitos, denominada 9conceitos-Q1-LOCS-Pós, foi calculada considerando o número de conceitos corretos dentre o máximo possível, isto é, seleção correta de discordância ou concordância em relação às 8 afirmações.

A média de desempenho no pré-teste foi 45% e no pós-teste foi 82% (Figura 27). Assim, todos os conceitos obtiveram aumento da média, sendo que dois obtiveram 100% de acerto no pós-teste, conceitos 3 e 7.

Com relação ao conceito 3, “A associação das duas cadeias poliméricas ocorre por meio de ligações de hidrogênio entre bases nitrogenadas complementares”, foi o que apresentou maior média de acerto no pré-teste

A afirmação do conceito 7 está na negativa, de forma que os 23 alunos selecionaram as opções discordo ou discordo fortemente. O aumento da média de acerto deste conceito evidencia que houve uma melhora na compreensão da importância do meio aquoso para a estabilidade da dupla hélice.

Figura 27: Desempenho nos 9 conceitos avaliados simultaneamente no pré e pós-teste aplicados aos alunos de pós-graduação.

A tabela 7 resume a nomenclatura definida para as questões do pré-teste e pós-teste, em função de seu número e classificação LOCS ou HOCS.

Tabela 7: Classificação e nomenclatura das questões apresentadas nos questionários de pré-teste e pós-teste aplicados na atividade com a pós-graduação.

	Questionário de Pré-teste		Questionário de Pós-teste	
Classificação das questões	Modalidade da questão	Nomenclatura	Modalidade da questão	Nomenclatura
Questão 1 - LOCS	Preencher 53 lacunas com termos adequados	Q1-LOCS-Pré	17 afirmações (Concordância/Discordância)	Q1-LOCS-Pós
Questão 2 - HOCS	Não analisada		Problema e afirmações (Verdadeiro/Falso)	Q2-HOCS-Pós
9 conceitos LOCS (Questão 1)	Preencher 20 lacunas com termos adequados	9conceitos-Q1-LOCS-Pré	8 afirmações (Concordância/Discordância)	9conceitos-Q1-LOCS-Pós

2.3.3.2 Performance dos estudantes de pós-graduação no pré-teste e pós-teste

A performance média dos estudantes foi significativamente superior no pós-teste em comparação com o pré-teste, o que foi verificado ao realizar um teste-t unidirecional ($p = 0,05$) considerando-se as três comparações apresentadas na tabela 8: i. percentagem de acerto na questão 1 do pré-teste (Q1-LOCS-Pré) versus percentagem de acerto da questão 1 do pós-teste (Q1-LOCS-Pós), ii. percentagem de acerto dos 9 conceitos no pré-teste (9conceitos-Q1-LOCS-Pré) versus no pós-teste (9conceitos-Q1-LOCS-Pós) e iii. percentagem total de acerto no pré-teste (Q1-LOCS-Pré) versus percentagem total de acerto no pós-teste (Q1-LOCS-Q2-HOCS-Pós). Note que, como a questão 2 do pré-teste não foi analisada, a percentagem total de acerto no pré-teste se restringe à percentagem de acerto na questão 1 (Q1-LOCS-Pré). Enquanto a percentagem total de acerto no pós-teste é o somatório da percentagem de acerto das questões 1 e 2 (Q1-LOCS-Q2-HOCS-Pós).

Tabela 8: Comparação entre o desempenho no pré-teste e pós-teste dos alunos de pós-graduação. (p= 0,05, teste-t uni caudal)

Categoria	Mínimo	Máximo	Média	DP	t	p
Q1-LOCS-Pré	0,23	0,89	0,64	0,22	1,72	0,02
Q1-LOCS-Pós	0,53	0,88	0,75	0,08		
(9conceitos-Q1-LOCS-Pré)	0,11	0,78	0,46	0,26	1,72	0,0000010
9conceitos-Q1-LOCS-Pós	0,44	1,00	0,82	0,14		
Q1-LOCS-Pré	0,23	0,89	0,64	0,22	1,72	0,05
Q1-LOCS-Q2-HOCS-Pós	0,55	0,82	0,72	0,07		

2.3.3.3 Incremento na aprendizagem normalizado

O suporte mais significativo para o poder instrucional dos tutoriais provém da análise do incremento na aprendizagem normalizado do pós-teste em relação ao pré-teste. O incremento na aprendizagem normalizado para cada estudante, calculado usando a fórmula $(100 * (\%Pós - \%Pré) / (100 - \%Pré))$ (KNIGHT e WOOD, 2005), possibilita a comparação válida entre estudantes com diferentes médias no pré-teste. A fórmula expressa a porcentagem média atingida pelo aluno em relação ao acerto máximo possível.

Para a análise do incremento na aprendizagem de cada estudante após realizar o tutorial, foram comparadas apenas as médias de acerto em relação aos 9 conceitos, ou seja, (9conceitos-Q1-LOCS-Pré) versus (9conceitos-Q1-LOCS-Pós). Isto se deve a dois fatores: i. São os conceitos que expressam o *corpus* conceitual do tutorial, tendo sido avaliados em ambos pré-teste e pós-teste. li. No pré-teste, as médias de acerto dos estudantes nas 19 lacunas referentes aos 9 conceitos nos (9conceitos-Q1-LOCS-Pré) é representativa das médias de acerto nas 53 lacunas, ou seja, total de acerto no pré-teste (Q1-LOCS-Pré), conforme coeficiente de

correlação de Pearson 0,96. No entanto, o mesmo não ocorre quando se compara as médias de acerto dos estudantes nas 8 afirmações referentes aos 9 conceitos no pós-teste (9conceitos-Q1-LOCS-Pós) com o total de acerto nas 17 afirmações da questão 1 do pós-teste, conforme coeficiente de correlação de Pearson 0,55. Logo, a média de acerto dos 9 conceitos no pós-teste não é representativa da média de acerto total no pós-teste, o que corrobora a dificuldade superior do pós-teste em relação ao pré-teste. Nesse sentido, a comparação entre as porcentagens total de acerto pré-teste e pós-teste não é a comparação mais adequada para estabelecer o incremento da aprendizagem de cada estudante.

A média no incremento na aprendizagem dos 23 alunos foi 36%, sendo que o gráfico da figura 28 mostra a distribuição dos alunos em função das faixas de incremento de aprendizagem, acrescidas de 10%. Nota-se que os 23 alunos obtiveram incremento na aprendizagem dos conceitos fundamentais, ou seja, o *corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”. Os indivíduos que obtiveram incremento entre 70% e 79% acertaram no pré-teste apenas 1 dentre os 9 conceitos, enquanto no pós-teste acertaram 8 dentre os 9 conceitos.

Figura 28: Comparação dos incrementos de aprendizagem normalizados (% do acerto máximo possível) com acréscimos de 10%, evidenciando o número de alunos por faixa de incremento de aprendizagem. Incremento na aprendizagem foi calculado como $(100 * (\%Pós - \%Pré)) / (100 - \%Pré)$.

2.3.3.4 Incremento na aprendizagem em LOCS *versus* HOCS

A correlação da média de acerto Q2-HOCS-Pós com o incremento na aprendizagem dos 9 conceitos-Q1-LOCS, apresentada na figura 29 evidencia que inclusive os alunos que apresentaram baixa porcentagem de acerto nas Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem do pré-teste obtiveram um incremento de aprendizagem tanto em habilidades de baixa ordem quanto em Habilidades Cognitivas de Alta Ordem. Dessa forma, esses estudantes foram capazes de construir explicações para a compreensão do fenômeno não familiar, estabelecendo relações entre a estrutura da molécula de DNA e o *corpus* conceitual específico explicado nos tutoriais. Os alunos que aumentaram aprendizagem em LOCS e acertaram mais de 3 afirmativas em HOCS. No gráfico, os cinco pontos referentes à 60% Média de acerto Q2-HOCS-Pós são representativos de 12 indivíduos.

Figura 29: Correlação do incremento na aprendizagem dos 9 conceitos (LOCS) com o desempenho na questão 2 do pós-teste (HOCS) aplicado aos alunos de pós-graduação.

2.3.4 Análise Hierárquica de Grupos (HCA)

Análise Hierárquica de Grupos (HCA) foi realizada no intuito de agrupar os estudantes em função do incremento na aprendizagem dos 9 conceitos apresentados na tabela 1. A figura 30 mostra o dendrograma no qual os estudantes foram separados em grupos pelo HCA, relativo ao padrão de erro e acerto dos 9 conceitos no pré-teste e pós-teste. O dendrograma é referente a uma matriz (23 x 18), composta por 23 linhas correspondentes a 23 alunos e 18 colunas referentes 9 colunas de acerto (1) e erro (0) pré-teste e 9 colunas de 9 colunas de acerto (1) e erro (0) no pós-teste. Houve a delimitação de três grupos que apresentam 36% (0.366) de similaridade entre os indivíduos: grupo 1 (4 alunos - verde), grupo 2 (10 alunos - vermelho) e grupo 3 (9 alunos - marrom).

Figura 30: Dendrograma obtido pelo HCA para a matriz (23 x 18) evidencia três grupos que apresentam 36% (0.366) de similaridade entre os indivíduos: vermelho - grupo 1 (4 alunos), verde - grupo 2 (10 alunos) e marrom - grupo 3 (9 alunos).

Foram calculadas as médias para cada grupo em relação à: i. no pré-teste, média na questão 1 LOCS, média nos 9 conceitos da questão 1 LOCS; ii. no pós-

teste, média na questão 1 LOCS e questão 2 HOCS, média na questão 1 LOCS, média na questão 2 HOCS média e média nos 9 conceitos da questão 1 LOCS; iii. Incremento de aprendizagem normalizado dos 9 conceitos pré e pós-teste (Tabela 9). A análise da tabela revela que o grupo 3 apresentou a maior média de acerto na Q1_LOCS pré-teste (84%), superior à média dos 23 alunos (64%), o que pode estar relacionado ao menor incremento na aprendizagem dos 9 conceitos (10%).

Tabela 9: Desempenho dos três grupos evidenciados pelo dendrograma obtido pelo HCA, apresentado na figura 21.

	Pré-teste		Pós-teste				Incremento 9 conceitos
	Q1-LOCS	Q1-9conceitos	Q1-LOCS/Q2-HOCS	Q1-LOCS	Q2-HOCS	Q1-9conceitos	
Grupo 1 (4 alunos)	34%	14%	69%	71%	65%	64%	50%
Grupo 2 (10 alunos)	58%	37%	77%	81%	62%	91%	55%
Grupo 3 (9 alunos)	84%	70%	69%	71%	60%	80%	10%
Média 23 alunos	64%	46%	73%	75%	62%	82%	36%

Figura 31: Contribuição percentual de cada grupo para o incremento na aprendizagem dos 9 conceitos apresentados na tabela 1.

O gráfico da figura 31 evidencia a contribuição de cada grupo para o incremento na aprendizagem de cada conceito, no intuito de salientar em relação a cada um dos grupos quais conceitos ficaram mais bem estabelecidas após o uso dos tutoriais. Considerando as afirmações 5, 6 e 7, fica evidente a menor contribuição do grupo 3 para o incremento na aprendizagem dos conceitos de influência do meio aquoso para a estabilidade da dupla hélice e estabelecimento dos domínios hidrofílico e hidrofóbico. Com exceção do conceito 9, o grupo 3 foi o que menos contribuiu para o incremento na porcentagem de acerto dos 9 conceitos. Isto é indicativo de ser um grupo no qual os indivíduos já possuíam domínio destes conceitos antes de utilizar o tutorial.

2.3.5 Percepção dos estudantes de pós-graduação sobre o uso de tutoriais e a atividade

As 16 afirmações apresentadas na questão 3 do pós-teste (página 256) serão analisadas conforme sua subdivisão nos 5 critérios:

1. Familiaridade com modos de representação tridimensional de moléculas;
2. Aprendizagem associada ao uso dos tutoriais de moléculas com animações interativas 3D;
3. Usabilidade dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”;
4. Metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D;
5. Aceitação do tutorial como material didático.

Em relação a cada afirmação, será apresentada a porcentagem de ocorrência das categorias concordo (C), concordo fortemente (CF), discordo (D) e discordo fortemente (DF). A análise da predominância de concordância ou da discordância em relação a cada afirmativa será feita, respectivamente, pelo somatório das porcentagens das categorias concordo fortemente (CF) com concordo (C) e discordo (D) com discordo fortemente (DF). Optou-se por não atribuir peso 2 para as categorias CF e DF e peso 1 para as categorias C e D, em função do rigor em relação à continuidade da escala de Likert, ou seja, a valoração distinta entre os intervalos (JAMIESON, 2004). Além disso, a não existência do ponto neutro (0) dificulta a definição dos intervalos 0 - D e 0 - C, que definiriam peso 1 para concordância ou discordância.

Critério 1: Familiaridade com modos de representação tridimensional de moléculas

O critério de familiaridade com os modos de representação tridimensional de moléculas (Figura 32), é expresso pelas afirmações 2, 4, 7 e 10.

Figura 32: Percepção dos estudantes de pós-graduação sobre o critério de familiaridade com os modos de representação tridimensional de moléculas.

Sobre o item 4, há predominância de concordância (30% C e 43% CF), indicando que a maior parte dos alunos se considera familiarizado com os diferentes modos de representação 3D de moléculas. No entanto, a parcela de 26% que selecionou a categoria discordo é significativa, uma vez que são estudantes de pós-graduação em bioquímica, e, portanto, graduados em área correlata e submetidos ao crivo do teste de ingresso na pós-graduação. A não familiaridade pode estar relacionada ao fato de que apenas 48% destes declararam que utilizam ferramentas de visualização de estrutura molecular, conforme seleção das categorias concordo (39%) e concordo fortemente (9%), relativas à afirmação 2. A baixa frequência de utilização de softwares de visualização molecular pode estar relacionada ao não incentivo de uso dos mesmos pelo ensino formal, uma vez que apenas 26% (17% C e 9% CF) dos alunos concorda com o item 7: “Meus professores usavam softwares interativos com estrutura 3D de moléculas em suas aulas”. Embora esses alunos

não tenham costume de utilizar e/ou serem expostos a softwares interativos com estrutura 3D de moléculas, a maioria utiliza vídeos e animações como parte dos estudos, conforme 67% de concordância (39% C e 28% CF) em relação à afirmação 10. Isto indica o interesse dos alunos em utilizar recursos didáticos para a aprendizagem. Dessa forma, as percepções dos alunos com relação ao critério de familiaridade com modos de representação 3D de moléculas, evidenciam parte do cenário no qual o desenvolvimento do tutorial foi considerado necessário, isto é, alunos que gostam de utilizar recursos didáticos no processo de ensino e aprendizagem, mas que não costumam utilizar ferramentas de visualização molecular e que também não são incentivados a fazê-lo no ensino formal. Isto corrobora a defasagem no desenvolvimento da literacia visual dos estudantes, comumente relatada na literatura, a qual é requerida para interpretar e criar representações externas (MNGUNI, 2016), que são fundamentais para o entendimento e a pesquisa nas ciências moleculares (SCHÖNBORN e ANDERSON, 2006).

Critério 2: Aprendizagem associada ao uso dos tutoriais de moléculas com animações interativas 3D

O critério de aprendizagem (Figura 33) é expresso pelas afirmações 9 e 12, que são representativas de dois fatores importantes para favorecer a aprendizagem: a relevância do conteúdo e a motivação do aprendiz.

Aprendizagem com o uso dos tutoriais "Estrutura do DNA" e "Estabilidade do DNA"

Figura 33: Percepção dos estudantes de pós-graduação sobre o critério de aprendizagem com o uso dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

A relevância dos conteúdos apresentados nos tutoriais fica evidente pela predominância de concordância (47% concordo e 47% concordo fortemente) em relação à afirmação 12, referente aos alunos terem aprendido novos conteúdos com o uso dos tutoriais. Apenas 4% selecionaram a categoria discordo, não havendo representatividade de discordo fortemente. Com relação ao impacto do uso dos tutoriais na motivação do aluno em aprender, verifica-se a majoritária concordância (73% concordo e 17% concordo fortemente) com a afirmação 9, relativa ao uso do tutorial ter aumentado o interesse do aluno pelo conteúdo. Novamente, apenas 4% de frequência da categoria discordo. Tal contexto é um indicativo de que os alunos consideram que o uso do tutorial com animações moleculares 3D interativas promoveu a aprendizagem, uma vez que a maioria relata que aprendeu conceitos que desconhecia e tiveram o interesse pelo conteúdo acentuado após o uso do material didático.

Em relação à aprendizagem de conceitos sobre as interações químicas intra e intermoleculares, existia na época da aplicação dos tutoriais com os alunos de pós-graduação, explicação relativa às ligações de hidrogênio e às ligações fosfodiéster. Outros tipos de interações, como as interações de dipolo-dipolo e dipolo-dipolo induzido, foram mencionadas em resposta à pergunta “Como as bases nitrogenadas interagem na mesma cadeia polimérica?”, apresentada na 5ª unidade conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”. As dificuldades dos alunos em relação à compreensão destes conceitos químicos foram expressas nos seguintes comentários escritos no pós-teste:

Estudante 4: “Acho que o tutorial ficaria mais completo se também explicasse outros conceitos como as interações de dipolo-dipolo, que não ficaram claros para mim. Se houvesse um glossário ao lado acredito que ficaria ainda mais didático, mas no geral o tutorial foi ótimo.”

Estudante 7: “Para pessoas que estão familiarizadas com os conceitos e a química da estrutura e a estabilidade, o tutorial é uma boa ferramenta para reforçar os temas, porém para quem não está frequentemente relacionado com a área não é muito claro e gera confusão na hora de esclarecer os conceitos.”

Estudante 11: “Acho que o tutorial é uma ajuda, mas acho necessária uma explicação adicional de conceitos para pessoas não relacionadas com a área.”

O pedido de alguns alunos para explicação de tais termos condiz com a descrição do critério referente à média de familiaridade em relação a todos os conceitos químicos avaliados na questão é 2,75, “estudei, mas lembro pouco”. Além disso, em especial sobre os conceitos momento de dipolo e interações tipo empilhamento π , apresentaram respectivamente, 1,96 e 1,26 de média de

percepção de dificuldade, sendo caracterizados pelo critério 1: “vi uma vez ou pouquíssimas vezes”.

Assim, para atender as requisições expressas nos comentários e condizente com a indicação da média dos alunos sobre seu grau de dificuldade e familiaridade de tais conceitos, o glossário de conceitos químicos foi ampliado de forma a apresentar explicações sobre: interações iônicas, interações do tipo dipolo-dipolo, interações do tipo dipolo-permanente-dipolo-induzido, ligação de hidrogênio e interações de dispersão de London (Interações de Van Der Waals).

A incorporação de tais definições foi considerada necessária porque são conhecimentos prévios que devem estar muito bem fundamentados para que o estudante compreenda estrutura e estabilidade do DNA. Além disso, se existe defasagem de tais conceitos prévios por alunos de pós-graduação, possivelmente o mesmo seria evidenciado na aplicação seguinte do tutorial com alunos de graduação.

A existência de dúvidas sobre conceitos químicos fundamentais pode dificultar a aprendizagem do DNA como biopolímero. Isto é, a compreensão da estrutura tridimensional da biomolécula como determinada pelas interações intra e intermoleculares que ocorrem entre seus monômeros e entre estes com o solvente no qual está imerso, no caso o meio aquoso da célula.

No entanto, os quatro alunos que expressaram comentários relativos às dificuldades com conceitos químicos, apresentaram incremento médio (valores entre 50% a 80%) na aprendizagem normalizada dos 9 conceitos fundamentais apresentados no tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”: estudante 4 (57%), estudante 7 (78%) e estudante 11 (78%). Portanto, considerando este parâmetro de

aprendizagem, avalia-se que os alunos aprenderam utilizando o tutorial, mesmo apresentando dúvidas relativas aos conceitos prévios de química.

Critério 3: Usabilidade dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”

O critério usabilidade (Figura 34) foi avaliado pelas afirmações 6 e 1.

Figura 34: Percepção dos estudantes de pós-graduação sobre o critério de o critério usabilidade dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

Nota-se que há predominância de escolhas nas categorias concordo e concordo fortemente e não existe ocorrência da categoria discordo fortemente, indicando que a maioria do alunado aprova a interface do tutorial e as instruções disponíveis para navegabilidade.

No entanto, existe uma maior ocorrência da categoria discordo (35%), o que pode estar relacionado a problemas na visualização de algumas animações, conforme exposto nos comentários: i. Estudante 3: “Houve momentos em que a animação travava, o que atrapalhou a aprendizagem. Em certos momentos era

necessário pular a animação.”; e ii. Estudante 21: “Sobre o tutorial tive dificuldade nas animações, pois travavam bastante”.

Avalia-se que os comentários sejam representativos de problemas com a visualização das três animações que apresentam a superfície molecular do DNA: i. a explicação sobre o modo de representação de superfície molecular apresentado na seção introdutória de modos de representação tridimensional de moléculas 3D, ii. a primeira unidade conceitual do tutorial que apresenta as fendas do DNA, e iii. a nona unidade conceitual que apresenta novamente as fendas do DNA. A parada da animação ocorre em consequência do tempo necessário para que o navegador execute o comando associado ao cálculo da superfície molecular do DNA. No intuito de minimizar esse problema é exibido no momento em que a animação para a legenda “Aguarde: calculando superfície molecular”, que objetiva informar ao usuário que a interrupção na execução da animação é momentânea.

Critério 4: Metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D

As afirmações 5, 8 e 3 (Figura 35) são destinadas a avaliar a percepção dos alunos sobre a metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas.

Figura 35: Percepção dos estudantes sobre o critério metodologia de desenvolvimento dos tutoriais “Estrutura do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

Verifica-se que as afirmações apresentam significativa maior incidência nas categorias concordo e concordo fortemente, não havendo seleção da categoria discordo fortemente. A concordância com o item 5 (65% concordo e 26% concordo fortemente) indica que os estudantes aprovaram a sequência de conteúdos apresentados pelas 12 unidades conceituais (tabela 3). Isso valora os sete princípios de organização do conteúdo, determinados na metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas 3D, e em especial os três seguintes: Princípio 1, referente ao estabelecimento de unidades conceituais que explicam as inter-relações entre os conteúdos nas vertentes: elemento estrutural, interação química e atividade biológica; Princípio 5, que consiste em iniciar a explicação do conteúdo pela macroestrutura da molécula, salientando as fendas maior e menor do DNA e sua importância para a interação com outras moléculas; Princípio 4, sobre a exploração hierárquica entre as unidades conceituais ser determinada por perguntas e respostas, formuladas para integrar a abordagem química da biomolécula evidenciada na matriz conceitual (tabela 2). A importância do princípio 4 fica ainda mais evidente pela majoritária concordância com o item 8 (79% concordo e 18% concordo fortemente), que indica que os alunos consideram que a organização do tutorial em perguntas e respostas facilita a compreensão dos conceitos sobre estrutura e estabilidade do DNA. Com relação ao item 5 apenas 9% discordaram.

A concordância com o item 3 (65% concordo e 34% concordo fortemente) evidencia que o aprendiz julga importante ser introduzido aos diferentes modos de representação tridimensional de moléculas para a compreensão das animações, o que condiz com o princípio 7 da metodologia de apresentar esse conteúdo antes de

iniciar o uso de tutoriais de moléculas. Portanto, o resultado indica que os alunos qualificam os princípios da metodologia como potencializadores da aprendizagem sobre estrutura e estabilidade do DNA.

Critério 5: Aceitação do tutorial como material didático

O critério de aceitação do tutorial como material didático (Figura 36), é expresso pelas afirmações 11, 13, 14 e 15, havendo predominância de escolhas nas categorias concordo (C) e concordo fortemente (CF) e não existe ocorrência da categoria discordo fortemente (DF), indicando que a maior parte dos alunos considera o tutorial um recurso valioso para o aprendizado de estrutura e estabilidade do DNA.

Figura 36: Percepção dos estudantes de pós-graduação sobre o critério aceitação do uso de tutoriais de moléculas.

Sobre o item 11, “Usaria novamente o tutorial para estudar os conceitos, todos os estudantes indicam que usariam novamente o tutorial conforme expresso pela concordância com a afirmação (48% C e 52% CF). A disposição em usar novamente o tutorial está relacionada à percepção de aprendizagem, avaliada pelos

itens 9 e 12, que indicam que os alunos consideram que aprenderam conceitos que desconheciam e tiveram o interesse pelo conteúdo acentuado após o uso do material didático.

A maioria dos alunos afirma que enquanto aluno de graduação gostaria de ter usado tutoriais moleculares interativos, conforme concordância com o item 14 (52% C e 39% CF). Embora manifestem o interesse, a maioria não teve professores que utilizassem softwares com estrutura 3D de moléculas em suas aulas, conforme item 7 (Figura 32). Os alunos também afirmam que gostariam de conhecer tutoriais de estrutura molecular sobre outros assuntos, conforme concordância com o item 15 (52% C e 43% CF). Com relação à afirmação 13, “Se eu fosse professor usaria o tutorial com meus alunos”, houve predominância de concordância (48% C e 35% CF) e 17% da categoria discordo. A valoração do uso dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA” como ferramenta de apoio ao ensino para o professor é exemplificada pelo estudante 8, que assinalou concordo fortemente e comentou: “Inclusive indiquei para os docentes da minha universidade.” Assim, destaca-se a aceitação do tutorial como material didático, ou seja, a percepção positiva sobre o uso de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D como ferramenta de ensino e aprendizagem. Essa percepção fica evidente no comentário do estudante 1: “Gostei bastante do tutorial. Parabéns!”.

Com relação ao tempo de realização da atividade ter sido adequado, referente ao item 16, destaca-se a maior parcela de discordância, o que também é evidenciado no comentário do estudante 22: “Achei o horário pouco suficiente para explorar mais, com certeza utilizarei ele em casa para estudos”. Em consonância, o

comentário do estudante 21 evidencia a necessidade de mais tempo para realização dos questionários de pré-teste, conforme:

“O pré-teste foi extremamente minucioso e havia lacunas demais para poucas palavras, o que deixava várias frases sem muito sentido, além de ser muito difícil para realizar em pouco tempo. O tutorial em si é muito bacana!! Mas particularmente não consigo absorver tanto conteúdo em pouco tempo e na sala de aula, mas é uma dificuldade minha. O pós-teste foi extremamente bem elaborado e direto, creio que o pré-teste poderia seguir esse modelo.”

Esse comentário foi importante para alterar para a modalidade LIKERT algumas questões do pré-teste e pós-teste aplicado aos alunos de graduação, em vez de usar o texto com lacunas como pré-teste.

Considerando a percepção dos alunos e da pesquisadora ao aplicar a atividade, avalia-se que um período de duas horas e trinta minutos seria mais adequado para responder aos questionários e realizar os tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”. Embora seja importante salientar que tiveram 12 estudantes que foram capazes de realizar o questionário de pré-teste, o tutorial e entregar o pós-teste em sala. Inclusive a média de incremento na aprendizagem dos 9 conceitos desses 12 estudantes é 45%, sendo superior à média 27% do grupo de estudantes que não conseguiu entregar o pós-teste em sala de aula. Portanto, os comentários e a percepção dos alunos sobre o tempo de realização da aplicação do tutorial foram importantes para determinar a duração da atividade com os alunos de graduação na segunda avaliação do material didático.

2.4 Conclusão

A atividade com os alunos de pós-graduação evidenciou o potencial instrucional do tutorial à medida que: i. favoreceu a aprendizagem da abordagem DNA como biopolímero, considerando a maior porcentagem de acerto do *corpus* conceitual no pós-teste em relação ao pré-teste (em especial conceitos sobre estabilidade da dupla hélice e influência do meio aquoso) e também a concordância por 96% dos alunos com a afirmação ‘Nos tutoriais aprendi conceitos que não conhecia antes’; ii. foi possível salientar a presença de dificuldade conceituais mesmo em um público especializado, considerando o grau de dificuldade (“difícil, aplico com dificuldade”) e familiaridade (“estudei, mas lembro pouco”) assinalados pelos estudantes, além de requisitarem nas observações do pós-teste que fossem incorporadas ao tutorial mais definições de conceitos químicos; iii. a percepção dos alunos deixou claro que a ferramenta é valorizada pelos alunos, tanto pelo conteúdo conceitual quanto pelo fato de eles acharem que desenvolveram suas habilidades de interpretar representações externas, principalmente, considerando que a maioria afirmou não ter contato com software de visualização 3D e que não tiveram professores que os utilizassem em sala de aula; e v. outra evidência de aprendizagem é o fato de existirem alunos que acertaram questões em LOCS e HOCS.

CAPÍTULO 3: Avaliação do potencial instrucional do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” com alunos de graduação

3.1 Coleta de dados

Somente a segunda versão do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” foi avaliada com alunos de graduação, em virtude de o tutorial “Estabilidade do DNA” possuir explicações de conceitos químicos mais complexos, os quais não foram considerados pertinentes ao público alvo.

No total, 85 alunos de graduação utilizaram o tutorial, sendo 59 graduandos, cursando a disciplina de Biologia Molecular (QBQ-126) coordenada pelas professoras Bettina Malnic e Claudiana Gomes, e 26 graduandos em Enfermagem que realizavam a disciplina de Biologia Molecular QBQ0107, coordenada pelos professores Carla Columbano e Carlos Hotta. Em ambas as aplicações os alunos foram orientados sobre a dinâmica da atividade da mesma forma que os estudantes de pós-graduação, conforme descrito no capítulo 1. Os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Medicina Veterinária – APÊNDICE D e Enfermagem - APÊNDICE E).

Os 26 graduandos em Enfermagem que realizavam a disciplina de Biologia Molecular QBQ0107 realizaram o tutorial em uma atividade extraclasse, sendo coletados apenas dados referentes à percepção de uso do tutorial e a aprendizagem. Dessa forma, os dados de percepção apresentados nesse capítulo são referentes aos 59 alunos da disciplina QBQ-126 e aos 26 alunos de QBQ0107.

Dentre os 59 estudantes que utilizaram o tutorial em sala de aula na disciplina de Biologia Molecular (QBQ-126), 56 eram alunos de Medicina Veterinária, 1 aluno de Física e 1 aluno de Ciências Farmacêuticas. É importante salientar que,

diferentemente da atividade aplicada para a pós-graduação, os alunos já tinham tido aula do conteúdo de estrutura do DNA durante a disciplina de Biologia Molecular antes de realizar os tutoriais.

A atividade em sala de aula possuiu 2 horas de duração, tendo sido registradas as percepções dos estudantes sobre sua realização. Os alunos tiveram 10 minutos para responder a um questionário de pré-teste, 1 hora e 30 minutos para a execução do tutorial de “Estrutura e Estabilidade do DNA” e 20 minutos para responder ao pós-teste. Em adição aos questionários de pré e pós-teste, os alunos responderam a um questionário durante a realização do tutorial, que consistiu em uma adaptação da questão 1 do pré-teste aplicado aos alunos de pós-graduação. Esse questionário objetivou ser um guia de aprendizagem para os alunos durante o desenvolvimento do tutorial de “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

Os questionários de pré-teste e pós-teste foram desenvolvidos de forma a avaliar a compreensão sobre estrutura e estabilidade do DNA dos estudantes após a realização do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”. O *corpus* conceitual do tutorial apresenta todos os 9 conceitos que foram avaliados na aplicação com a pós-graduação, porém na atividade com a graduação somente 3 conceitos foram avaliados, os quais são enumerados como 1, 2 e 3 na tabela 10. Adicionalmente, foi verificada a presença de possíveis erros conceituais referentes à composição da estrutura molecular do DNA, sobre os conceitos de fita e formação das cadeias poliméricas, conforme representado pelas frases 4 e 5, as quais erroneamente descrevem a estrutura molecular do DNA (tabela 10).

Tabela 10: *Corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” com integração da abordagem química do biopolímero de DNA, que foi avaliado na atividade com a graduação.

	Conceitos do DNA como biopolímero apresentados no tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA.
1	Dois monômeros estão unidos em uma mesma cadeia polimérica do DNA por meio de uma ligação covalente denominada ligação fosfodiéster. Esta ligação determina a direcionalidade 3’->5’ de cada cadeia polimérica.
2	O meio aquoso da célula influencia a estrutura do biopolímero à medida que interage de forma distinta com as partes hidrofílica (fosfato) e hidrofóbica (base nitrogenada) de cada monômero, determinando a formação, respectivamente, dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.
3	A orientação antiparalela dos pares de monômeros determina a orientação antiparalela do duplo polímero e a subsequente formação de padrões estruturais, fenda maior e menor.
4	A estrutura molecular do DNA é composta por duas cadeias poliméricas associadas por meio de ligações de hidrogênio entre bases nitrogenadas complementares (pares AT e CG). Logo, enunciar o conceito dessa forma é incorreto: O DNA é composto por duas cadeias poliméricas iguais, associadas por ligações de hidrogênio entre os pares de bases.
5	Cada cadeia polimérica é composta por monômeros (nucleotídeos) unidos por meio de ligação fosfodiéster, sendo cada nucleotídeo composto por uma desoxirribose, um fosfato e uma base nitrogenada, que pode ser A, T, C ou G. A expressão fita se refere a uma cadeia polimérica e não apenas ao esqueleto fosfodiéster do DNA que é composto pela alternância de grupos fosfato e desoxirribose. Além disso, o eixo é um referencial de simetria da molécula e não um componente físico da mesma. Logo, a informação a seguir é incorreta: São componentes da estrutura molecular do DNA as fitas, as bases nitrogenadas e o eixo da hélice.

3.1.1 Questionário de pré-teste

O questionário de pré-teste (APÊNDICE H) é composto por três partes:

1. Formação acadêmica dos participantes, a qual requisita informações sobre o curso de graduação dos estudantes e se gostam da disciplina de biologia molecular, no intuito de obter um indicativo para a motivação destes.

2. Avaliação dos conhecimentos prévios dos participantes, composta por duas questões formuladas na modalidade Likert apresentando afirmações sobre as quais os alunos são solicitados a julgar seu grau de concordância, considerando uma escala de quatro pontos (DF: discordo fortemente, D: discordo, C: concordo, CF: concordo fortemente). Ambas foram desenvolvidas para avaliar Habilidades de Baixa Ordem Cognitiva (LOCS).

3.1.2 Questionário de pós-teste

O questionário de pós-teste (APÊNDICE I) é composto por duas partes:

1. Avaliação dos conhecimentos dos estudantes posteriormente ao uso dos tutoriais, composto por cinco questões, sendo que apenas a 5 avalia Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (HOCS) e as demais avaliam Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS).

As questões 1 e 2 foram formuladas na modalidade Likert, na qual os alunos julgam seu grau de concordância com as afirmações considerando uma escala de quatro pontos (DF: discordo fortemente, D: discordo, C: concordo, CF: concordo fortemente).

As questões 3, 4 e 5 foram desenvolvidas para avaliar a presença de possíveis conceitos errôneos referentes à composição da estrutura molecular do DNA, sobre os conceitos de fita e formação das cadeias poliméricas. Para tal, as questões consistem em uma adaptação de questionários em três etapas para diagnóstico de conceitos alternativos (OLIVEIRA, 2016), que consiste em: i. julgamento de uma afirmação conceitual em Verdadeira ou Falsa, ii. três

justificativas possíveis para o julgamento da afirmação e uma opção de preenchimento pelo próprio respondente, caso considere inadequadas as três justificativas fornecidas, e iii. indicar o nível de certeza com relação às respostas das duas etapas anteriores. As questões 3 e 4 apresentam afirmações idênticas, respectivamente, aos itens 4 e 5 da questão 2 do pré-teste, sendo destinada a avaliar Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS). Dessa forma, as questões 2, 3 e 4 do pós-teste, apresentam os 5 conceitos avaliados simultaneamente no pré e pós-teste.

A questão 5 apresenta uma afirmação que não estava presente no pré-teste, mas cuja resposta requer a compreensão de um conceito avaliado por meio da sétima afirmação apresentada na questão 2 do pré-teste. Essa questão avalia Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (HOCS), uma vez que requer a compreensão do DNA como biopolímero, ou seja, associação de conceitos de empilhamento e ligações de hidrogênio que comumente não são trabalhados associados em sala de aula.

2. Questionário de percepção de uso dos tutoriais e a realização da atividade, previamente descrito.

3.2 Análise dos dados

A atividade transcorreu conforme o planejado, sendo adequados os tempos de realização dos questionários de pré e pós-teste, além de uso do tutorial Estrutura e Estabilidade do DNA. A análise dos dados consistiu em uma abordagem quantitativa e qualitativa. Da mesma forma que realizado com a pós-graduação, a análise quantitativa da performance dos estudantes no pré e pós-teste foi realizada utilizando o teste T. Além disso, foi feita uma Análise Hierárquica de Grupos (HCA),

no intuito de agrupar os estudantes em função de sua aprendizagem dos 5 conceitos apresentados na tabela 10. A análise qualitativa consistiu na percepção dos estudantes sobre o uso do tutorial, avaliada pelo questionário de percepção apresentado em conjunto com os comentários dos mesmos sobre a atividade. Além disso, foram selecionados quatro estudantes de Medicina Veterinária, sendo um estudante de cada um dos quatro grupos evidenciados pelo HCA, para realização das entrevistas semi-estruturadas. A análise da entrevista será apresentada no final deste capítulo.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Análise descritiva da atividade guia

A figura 37 apresenta a atividade guia, semelhante a um roteiro, aplicada com os 59 alunos de graduação da turma QBQ-126, a qual foi realizada em conjunto com o uso do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”, sendo uma adaptação da questão 1 (LOCS) do pré-teste aplicado para a pós-graduação. O texto foi alterado objetivando maior clareza, de forma que apresenta 49 lacunas, enquanto o aplicado à pós-graduação tinha 53 (Figura 22). O texto está apresentado ao lado do gráfico com a frequência de preenchimento correto das 49 lacunas do texto, no intuito de possibilitar relacionar visualmente a porcentagem de acerto de cada lacuna com o contexto no qual a mesma está apresentada no texto.

A porcentagem média de acerto das lacunas foi 93%, muito superior à porcentagem média de acerto (64%) das 53 lacunas constantes na versão do texto apresentada na questão 1 do pré-teste, aplicado na atividade com a pós-graduação. Essa diferença pode estar relacionada ao fato de que os alunos de graduação

responderam a questão com o auxílio do tutorial, enquanto os alunos de pós-graduação responderam à questão no pré-teste. As lacunas que apresentaram menor porcentagem de acerto foram referentes ao termo monômero (60%) e empilhamento de bases (60%). Com relação à lacuna referente ao termo “monômero”, assim como na pós-graduação, os termos incorretos utilizados para preenchimento foram “grupos químicos” (17 alunos - 29%) e “base nitrogenada” (3 alunos - 5%). Além disso, os alunos de pós-graduação também apresentaram baixa porcentagem de acerto do termo (35%), o que reforça a dificuldade de ensino e aprendizagem do DNA em uma abordagem de biopolímero.

Questão 01 - O texto a seguir contém lacunas. Indique o melhor conteúdo para completá-las dentre os listados abaixo, utilizando o número correspondente ao conteúdo escolhido. Se necessário, use um conteúdo mais de uma vez.

1 [adenina]	10 [empilhamento de bases]	19 [ligações de hidrogênio]
2 [água]	11 [fenda maior]	20 [ligações fosfodiéster]
3 [antiparalela]	12 [fenda menor]	21 [meio aquoso]
4 [base nitrogenada]	13 [fosfato]	22 [monômeros]
5 [cadeias poliméricas]	14 [grupos químicos]	23 [proximidade]
6 [cargas negativas]	15 [guanina]	24 [desoxirribose]
7 [citosina]	16 [hidrofílico]	25 [sequência]
8 [conformação]	17 [hidrofóbico]	26 [sobreposição]
9 [direcionalidade]	18 [hidroxila]	27 [timina]

O B-DNA é composto por duas **[cadeias poliméricas (100%)]** associadas como uma dupla hélice, formadas por quatro **[monômeros (59%)]** distintos, denominados nucleotídeos. Em cada nucleotídeo identificam-se os seguintes grupos químicos: **[fosfato (97%)]**, **[radical desoxirribosil (100%)]**, e **[base nitrogenada (100%)]**. Estes últimos podem ser **[guanina (97%)]** (G), **[adenina (95%)]** (A), **[timina (97%)]** (T) ou **[citosina (95%)]** (C). A **[sequência (98%)]** de nucleotídeos no DNA codifica a informação genética do organismo. Numa cadeia, os nucleotídeos estão unidos por meio de ligações covalentes, denominadas **[ligações fosfodiéster (100%)]**, em que o grupo **[fosfato (83%)]** de um nucleotídeo está ligado ao carbono 5' de seu grupo desoxirribosil e ao carbono 3' do grupo desoxirribosil do nucleotídeo anterior e assim sucessivamente.

Essa ligação estabelece uma **[direcionalidade (87%)]** a cada cadeia polimérica, que inicia-se no grupo **[fosfato (95%)]** ligado ao carbono 5' do desoxirribosil do primeiro nucleotídeo e termina com um grupo **[hidroxila (94%)]** ligado ao carbono 3' do desoxirribosil do último nucleotídeo. A associação de duas cadeias poliméricas ocorre por meio de **[ligações de hidrogênio (100%)]**, de forma que a **[adenina (97%)]** faz duas **[ligações de hidrogênio (100%)]** com a **[timina (95%)]** e a **[guanina (95%)]** faz três **[ligações de hidrogênio (100%)]** com a **[citosina (95%)]**. Em cada cadeia polimérica, as bases nitrogenadas adjacentes, estabelecem o chamado **[empilhamento de bases (97%)]**, que são interações eletrostáticas favorecidas por: 1.**[proximidade (100%)]** entre os pares de bases empilhados (0.34nm), 2. comprimento próximo dos dois pares de bases AT e CG que **[sobrepõe (100%)]** os anéis planares das bases nitrogenadas adjacentes, 3.efeito **[hidrofóbico (83%)]** do meio aquoso sobre as bases nitrogenadas que promove o **[empilhamento de bases (98%)]** e diminui a exposição da base nitrogenada à **[água (92%)]**, estabelecendo o domínio **[hidrofóbico (97%)]** voltado para o interior da dupla hélice. Além disso, o meio aquoso da célula exerce um efeito **[hidrofilico (93%)]** sob o grupo fosfato que determina as **[cargas negativas (100%)]** do esqueleto fosfodiéster, as quais interagem com o **[meio aquoso (98%)]**, estabelecendo o domínio **[hidrofilico (97%)]** da dupla hélice. Portanto, o meio aquoso influencia no estabelecimento das interações eletrostáticas que estabilizam a dupla hélice: as interações de **[empilhamento de bases (56%)]**, as **[ligações de hidrogênio (86%)]** e as interações entre as cargas negativas do grupo **[fosfato (85%)]** com o meio aquoso da célula. As duas cadeias poliméricas estão orientadas de forma **[antiparalela (97%)]** como consequência da orientação **[oposta (90%)]** de um nucleotídeo em relação ao seu complementar. Dessa forma, as extremidades superior e inferior da dupla hélice apresentam, respectivamente, um grupo **[fosfato (97%)]** ligado ao carbono 5' da desoxirribose e um grupo **[hidroxila (98%)]** ligado ao

	carbono 3' da desoxirribose.																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ANTIPARALELA</td> <td>96,6%</td> </tr> <tr> <td>FENADA MAIOR</td> <td>100,0%</td> </tr> <tr> <td>FENDA MENOR</td> <td>98,3%</td> </tr> <tr> <td>GRUPOS QUÍMICOS</td> <td>84,7%</td> </tr> <tr> <td>GRUPOS QUÍMICOS</td> <td>96,6%</td> </tr> <tr> <td>LIG. DE H</td> <td>91,5%</td> </tr> <tr> <td>GRUPOS QUÍMICOS</td> <td>78,0%</td> </tr> <tr> <td>FENDA MAIOR</td> <td>88,1%</td> </tr> <tr> <td>FENDA MENOR</td> <td>78,0%</td> </tr> </tbody> </table>	Item	Porcentagem	ANTIPARALELA	96,6%	FENADA MAIOR	100,0%	FENDA MENOR	98,3%	GRUPOS QUÍMICOS	84,7%	GRUPOS QUÍMICOS	96,6%	LIG. DE H	91,5%	GRUPOS QUÍMICOS	78,0%	FENDA MAIOR	88,1%	FENDA MENOR	78,0%	<p>A orientação [antiparalela (97%)] das duas cadeias de DNA resulta na formação da [fenda maior (100%)] e da [fenda menor (98%)], que expõem [grupos químicos (85%)] das bases nitrogenadas que são aceptores e doadores de ligação de hidrogênio. Esses [grupos químicos (97%)] interagem por meio de [ligações de hidrogênio (92%)] com proteínas. Em geral, as proteínas que fazem reconhecimento de sequência específica de nucleotídeos interagem com os [grupos químicos (78%)] expostos na [fenda maior (88%)] da dupla hélice, porém algumas interagem com a [fenda menor (78%)].</p>
Item	Porcentagem																				
ANTIPARALELA	96,6%																				
FENADA MAIOR	100,0%																				
FENDA MENOR	98,3%																				
GRUPOS QUÍMICOS	84,7%																				
GRUPOS QUÍMICOS	96,6%																				
LIG. DE H	91,5%																				
GRUPOS QUÍMICOS	78,0%																				
FENDA MAIOR	88,1%																				
FENDA MENOR	78,0%																				

Figura 37: Atividade guia aplicada em conjunto com o uso do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” e desempenho no preenchimento correto das 49 lacunas do texto.

3.3.2 Análise descritiva do questionário de pré-teste

Questão 1

A questão 1 apresenta seis representações externas da estrutura molecular, sendo quatro referentes à dupla hélice e duas referentes a um segmento da dupla hélice, que contém apenas dois pares de nucleotídeos (Figura 38). Essas representações possuem oito áreas retangulares que delimitam e salientam determinados elementos estruturais do DNA, sendo indicadas por letras de A até H. Em adição, são apresentadas sete afirmações relacionadas a essas áreas e ao conteúdo conceitual codificado nas seis representações externas do DNA. Os alunos são requisitados a analisar essas regiões e julgar seu grau de concordância com as sete afirmações, considerando uma escala de quatro pontos (DF: discordo fortemente, D: discordo, C: concordo, CF: concordo fortemente). Dessa forma, essa questão foi desenvolvida para avaliar Habilidades de Baixa Ordem Cognitiva

(LOCS), pois requer a lembrança de conhecimentos prévios e subsequente interpretação das representações externas para reconhecimento visual de elementos estruturais do DNA.

Questão 01. Analise as regiões A até H nas figuras e classifique seu grau de concordância com cada uma das afirmações abaixo usando as seguintes categorias:

DF: discordo fortemente D: discordo C: concordo CF: concordo fortemente

Afirmações	DF	D	C	CF
A região A representa um nucleotídeo que possui três componentes característicos: uma base nitrogenada, uma ribose e um fosfato.				
A região B representa os grupos químicos do par de bases nitrogenadas que estão expostos na fenda maior da dupla hélice.				
A figura 1 representa uma molécula de DNA que resulta da incorporação de moléculas de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas.				
As regiões C e D representam a direcionalidade 5'PO ₄ →3'OH de cada cadeia polimérica.				
As regiões E e F representam, respectivamente, a fenda menor e a fenda maior da dupla hélice.				
A região G representa as ligações de hidrogênio que unem covalentemente os pares de bases complementares.				
A região H representa dois nucleotídeos unidos por uma ligação fosfodiéster.				

<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>
<p>5</p>	<p>6</p>		

Figura 38: Enunciado da questão 1 (LOCS) do pré-teste aplicado aos alunos de graduação.

O desempenho médio dos estudantes foi de 57% (Figura 39), sendo que o conceito que apresentou menor porcentagem de acerto é sobre a composição do nucleotídeo.

Figura 39: Desempenho na questão 1 (LOCS) do pré-teste aplicado aos alunos de graduação.

Em relação à afirmação 1, “A região A representa um nucleotídeo que possui três componentes característicos: uma base nitrogenada, uma ribose e um fosfato.”, obteve-se apenas 17% de acerto, ou seja, indicação das categorias discordo e discordo fortemente. A região A de fato salienta um nucleotídeo na dupla hélice, porém como se trata de um DNA a frase está errada, visto que o nucleotídeo na molécula de DNA possui três componentes característicos: uma base nitrogenada, uma desoxirribose e um fosfato. Verifica-se duas possibilidades de erro nesta questão, sendo elas a interpretação incorreta do que a região A representa e/ou a não compreensão de que deveria estar escrito desoxirribose para que se referisse ao DNA.

Sobre o item 2, “A região B representa os grupos químicos do par de bases nitrogenadas que estão expostos na fenda maior da dupla hélice.”, obteve-se 73%

de acerto pela indicação das categorias concordo e concordo fortemente. Assim, a maioria dos estudantes conseguiu interpretar e reconhecer espacialmente a presença dos grupos químicos das bases nitrogenadas e verificar que a região B está salientando parte da região da fenda maior.

A afirmação 3, “A figura 1 representa uma molécula de DNA que resulta da incorporação de moléculas de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas.”, obteve 34% de acerto pela seleção das categorias discordo e discordo fortemente. O intuito da afirmativa era verificar se os estudantes possuem o conceito do DNA como biopolímero, o que significa a compreensão de que a cadeia polimérica é resultante da união de monômeros por meio de ligações fosfodiéster.

Outro objetivo foi analisar se uma das representações externas mais comuns do DNA (Representação 1 – Figura 38) possui impacto na elaboração do conceito de biopolímero, a qual mostra o esqueleto fosfodiéster como duas fitas contínuas e de mesma cor, enquanto os traços horizontais referentes às bases nitrogenadas são representados com quatro cores distintas.

A investigação conceitual consiste em verificar se esta representação faz parecer que as bases nitrogenadas são algo à parte das fitas, ou seja, não são componentes das fitas do DNA, de forma que a expressão fita seria sinônimo de esqueleto fosfodiéster e não representativa da cadeia polimérica como um todo. Nesse sentido, a representação poderia atuar no estabelecimento de um erro conceitual referente a como são formadas as cadeias poliméricas, as quais resultariam da incorporação de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster, previamente montado, por meio de reações químicas.

Verificou-se que apenas 34% dos estudantes consideraram errônea a afirmação, o que é um indicativo de que o conceito de biopolímero não está bem fundamentado, além de poder indicar que a interpretação da RE pode atuar no estabelecimento de um conceito errado. O papel da representação 1 será posteriormente abordado nas entrevistas semi-estruturadas.

Com relação à afirmação 4, “As regiões C e D representam a direcionalidade 5’PO₄->3’OH de cada cadeia polimérica.”, 85% dos estudantes acertaram e assinalaram concordo ou concordo fortemente. A afirmação 5, “As regiões E e F representam, respectivamente, a fenda menor e a fenda maior da dupla hélice.”, obteve a maior porcentagem de acerto, de forma que 93% dos estudantes assinalaram concordo ou concordo fortemente. Em conjunto com os 73% de acerto referente à afirmação 2, previamente analisada, existe um indicativo de que os estudantes reconhecem os padrões estruturais da dupla hélice, as fendas menor e maior.

A afirmação 6, “A região G representa as ligações de hidrogênio que unem covalentemente os pares de bases complementares.”, obteve apenas 25% de acerto, assinalando as categorias discordo e discordo fortemente. É um indicativo de uma defasagem do conceito químico de ligação de hidrogênio, que não é uma ligação covalente. Em relação à afirmativa 7, “A região H representa dois nucleotídeos unidos por uma ligação fosfodiéster.”, obteve-se 73% de acerto referente à indicação das categorias concordo e concordo fortemente.

Questão 2

A questão 2 (Figura 40) do pré-teste aplicado aos alunos de graduação apresenta sete afirmações, requisitando aos alunos julgar seu grau de concordância

considerando uma escala de quatro pontos (DF: discordo fortemente, D: discordo, C: concordo, CF: concordo fortemente). Essa questão foi desenvolvida no intuito de avaliar Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS), a medida que requerem apenas memória e compreensão de conhecimentos prévios.

Questão 02. Assinale seu grau de concordância com cada afirmação abaixo usando as seguintes categorias:

DF: discordo fortemente

D: discordo

C: concordo

CF: concordo fortemente

Afirmações	DF	D	C	CF
A ligação fosfodiéster determina a direcionalidade 5'PO ₄ ->3'OH de cada cadeia polimérica.				
A orientação antiparalela das duas cadeias poliméricas resulta na formação da fenda menor e da fenda maior.				
O meio aquoso da célula determina a formação dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.				
São componentes da estrutura molecular do DNA as fitas, as bases nitrogenadas e o eixo da hélice.				
O DNA é composto por duas cadeias poliméricas iguais, associadas por ligações de hidrogênio entre os pares de bases.				
O rompimento de ligações fosfodiéster entre os pares de bases causa a separação das cadeias poliméricas de DNA.				
A força das interações de empilhamento de bases entre guanina sobreposta à citosina é superior à força entre adenina sobreposta à timina.				

Figura 40: Enunciado da questão 2 (LOCS) do pré-teste aplicado aos alunos de graduação.

O desempenho médio dos alunos na questão 2 foi de 66% (Figura 41), superior ao desempenho médio na questão 1 que também requisita LOCS (57%), mas com a necessidade de reconhecimento visual nas representações externas dos conceitos nelas codificados.

Figura 41: Desempenho na questão 2 (LOCS) do pré-teste aplicado aos alunos de graduação.

Dentre as 7 afirmativas, apenas as afirmações 6 e 7 não estão presentes no pós-teste e serão discutidas nesta seção, as demais serão analisadas na seção de comparação entre pré e pós-teste.

Em relação a afirmativa 6, “O rompimento de ligações fosfodiéster entre os pares de bases causa a separação das cadeias poliméricas de DNA.”, obteve-se 56% de acerto referente à indicação das categorias discordo e discordo fortemente. É um indicativo da falha fundamentação teórica da abordagem de biopolímero, uma vez que entre os pares de bases existem ligações de hidrogênio.

Sobre a afirmação 7, “A força das interações de empilhamento de bases entre guanina sobreposta à citosina é superior à força entre adenina sobreposta à timina.”, houve 80% de média de acerto, referente às categorias concordo e concordo fortemente. Isto é um indicativo da compreensão do conceito de que a força das interações de empilhamento de bases depende de quais bases nitrogenadas estão interagindo, visto que cada base possui aromaticidade e momentos de dipolo específicos. Além disso, favorece a compreensão do conceito de que o

empilhamento de bases entre nucleotídeos sobrepostos é dependente da sequência de nucleotídeos.

A afirmação 7 também foi apresentada no pós-teste da pós-graduação e obteve 70% de média de acerto (Figura 24, afirmativa 16). Na atividade com a graduação, esse conceito é indiretamente requisitado na questão 5 do pós-teste, uma vez que os estudantes precisam dessa compreensão para serem capazes de entender um conceito relacionado que consiste em as interações de empilhamento de bases contribuírem mais para a estabilidade da dupla hélice do que as ligações de hidrogênio entre os pares de bases.

3.3.3 Análise descritiva do questionário de pós-teste

Questão 1

A questão 1, que requisita Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS), apresenta as mesmas seis representações externas do pré-teste, sendo quatro referentes à dupla hélice e duas referentes a um segmento da dupla hélice, que contém apenas dois pares de nucleotídeos (Figura 42). Requisita-se aos estudantes salientar oito elementos estruturais do DNA, indicados por letras de A até H. A livre demarcação das regiões pelos estudantes permite que salientem o mesmo conceito ou elemento estrutural em mais de uma figura, o que possibilita avaliar em quais dessas figuras determinados elementos seriam mais indicados e também se os alunos se sentem mais confortáveis em indicar regiões de representações bidimensionais ou tridimensionais.

Questão 01. Identifique nas figuras abaixo os seguintes elementos da estrutura molecular do DNA:

A. Nucleotídeo	E. Fenda menor
B. Grupos químicos das bases nitrogenadas expostos na fenda maior.	F. Fenda maior
C. 5' PO ₄	G. Ligações de hidrogênio
D. 3'OH	H. Ligação fosfodiéster

Para melhor evidenciar suas indicações contorne a região, use setas e coloque a letra próxima a cada região que deseja indicar. O mesmo elemento pode ser salientado em mais de uma figura e não precisa indicar todos os elementos na mesma figura.

Figura 42: Enunciado da questão 1 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

O desempenho médio dos alunos foi de 87% na seleção correta das regiões referentes aos conceitos químicos e aos elementos estruturais nas 6 representações

externas do DNA. A região que apresentou menor porcentagem de indicação correta foi a dos grupos químicos das bases nitrogenadas expostos na fenda maior, conforme o gráfico da figura 43.

Figura 43: Desempenho na questão 1 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Considerando que foi solicitado a livre demarcação dos conceitos e elementos estruturais do DNA, a tabela 11 apresenta exemplos de indicações que foram consideradas corretas e incorretas para a seleção de: “B. Grupos químicos das bases nitrogenadas expostos na fenda menor”; “C. 5'PO4” e “D. 3'OH”; “E. Fenda menor” e “F. Fenda maior; ligação fosfodiéster”.

Tabela 11: Exemplos de indicações de conceitos químicos e elementos estruturais do DNA que foram considerados corretos e errados na questão 1 do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Conceito/Elemento estrutural	Correto	Errado
B. Grupos químicos das bases nitrogenadas expostos na fenda menor	<p>Salientar grupos químicos (parte colorida) na representação 2 Estudante 31</p>	<p>Salientar só uma parte dos grupos químicos e o esqueleto fosfodiéster: Estudante 3</p>

Conceito/Elemento estrutural	Correto	Errado
C. 5'PO4 D. 3'OH	<p>Estudante 48</p> <p>Estudante 31</p>
E. Fenda menor F. Fenda maior	<p>Estudante 3</p>	<p>Indicar fenda maior com E. Estudante 23</p>
H. Ligação fosfodiéster	<p>Estudante 1</p>	<p>Salientar ligação fosfoéster. Estudante 30</p>

Em relação à representação 1, referente à base nitrogenada como traço horizontal e o esqueleto fosfodiéster como fita, 78% dos estudantes salientou corretamente a região de um nucleotídeo, conforme gráfico da figura 27. Porém, a resposta de alguns alunos mostra que essa representação ocasiona certa confusão sobre qual é de fato a região referente a um nucleotídeo, o que é evidenciado pela seleção de apenas a região da base nitrogenada pelos estudantes 2, 19, 44, 45, 49, 50 e 54, e pela seleção de apenas a região do esqueleto fosfodiéster pelos estudantes 35 e 42 (Tabela 12).

O estudante 54, apesar de errar a região referente ao nucleotídeo na representação 1 (Figura 42), seleciona de forma hábil a região do nucleotídeo na representação bidimensional (representação 5 – figura 42). Enquanto o estudante 42, apesar de errar a região referente ao nucleotídeo na representação 1 (figura 42), seleciona de forma hábil a região do nucleotídeo na representação tridimensional (representação 6 – figura 42). A indicação do nucleotídeo pelo estudante 48 salienta ainda mais a dificuldade de interpretação da representação da dupla hélice, visto que esse possivelmente fez uma indicação inicial do nucleotídeo como apenas a região da base nitrogenada, ou apenas a região do esqueleto fosfodiéster, e ao analisar mais profundamente selecionou ambas as regiões como sendo referentes ao nucleotídeo.

Tabela 12: Exemplos de indicações do nucleotídeo consideradas corretas e erradas na questão 1 do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Elemento estrutural	Correto	Errado
A. Nucleotídeo	Es fosfodiéster e base nitrogenada: Estudante 48

	Estudante 36	Salientar apenas a base nitrogenada: Estudante 54
	Salientar apenas o esqueleto fosfodiéster: Estudantes 35
	Estudante 54

Salientar apenas a região do esqueleto fosfodiéster: Estudante 42
	Estudante 42

Com relação a seleção da ligação de hidrogênio (G), os estudantes 28 e 42 selecionaram a região entre bases nitrogenadas na representação esquemática da dupla hélice (representação 1 – figura 42), o que foi considerado certo, visto que são as ligações de hidrogênio que associam as bases, embora não estejam sendo representadas na figura (Tabela 13). No entanto, após a realização das entrevistas há dúvidas se de fato os estudantes estavam indicando apenas a região onde ocorrem as ligações de hidrogênio ou se estavam indicando os traços horizontais referentes às bases nitrogenadas como sendo as ligações de hidrogênio, conforme será discutido na análise das entrevistas.

Tabela 13: Exemplos de indicações das ligações de hidrogênio consideradas corretas e erradas na seleção de nucleotídeo na questão 1 do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Conceito	Correto	Errado
G. Ligações de hidrogênio	<p>Estudante 48:</p> <p>Estudante 31</p> <p>Estudante 28</p> <p>Estudante 42</p>	<p>Salientar apenas a letra H:</p> <p>Estudante 30</p>

Questão 2

A questão 2 (Figura 44) apresenta três afirmações idênticas ao pré-teste, requisitando aos alunos julgar seu grau de concordância considerando uma escala de quatro pontos (DF: discordo fortemente, D: discordo, C: concordo, CF: concordo fortemente). Essa questão foi desenvolvida no intuito de avaliar Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS), a medida que requerem apenas recordar dos conhecimentos prévios.

Questão 02. Assinale seu grau de concordância com cada afirmação abaixo usando as seguintes categorias: *DF: discordo fortemente* *D: discordo* *C: concordo* *CF: concordo fortemente*

Afirmações	DF	D	C	CF
A ligação fosfodiéster determina a direcionalidade 5'PO ₄ ->3'OH de cada cadeia polimérica.				
A orientação antiparalela das duas cadeias poliméricas resulta na formação da fenda menor e da fenda maior.				
O meio aquoso da célula determina a formação dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.				

Figura 44: Enunciado da questão 2 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

O desempenho médio dos estudantes foi de 91% (Figura 45), sendo que a análise comparativa do pré e pós-teste será feita na próxima seção.

Figura 45: Desempenho na questão 2 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

3.3.4 Análise de conceitos alternativos

A seguir serão apresentados gráficos referentes à análise das questões 3, 4 e 5 com base na seleção de alternativas em cada uma das três etapas envolvidas no diagnóstico de conceitos alternativos, que consistem em: i. julgamento de uma afirmação conceitual em Verdadeira (V) ou Falsa (F), ii. três justificativas possíveis para o julgamento da afirmação, sendo A, B ou C, e iii. nível de certeza com relação às respostas das duas etapas anteriores, “Tenho certeza” (1), “Não tenho certeza” (2), “Chutei” a resposta (3). Dessa forma, a combinação de respostas corretas que será representada nos gráficos de análise dos dados para cada questão é: Q3 - FB, Q4 - FC e Q5 - VC. Conforme a seleção do grau de certeza, tem-se: “Tenho certeza” (1), Q3 - FB1, Q4 - FC1 e Q5 - VC1; “Não tenho certeza” (2), Q3 - FB2, Q4 - FC2 e Q5 - VC2; “Chutei” (3), nenhum aluno indicou esta categoria. Apenas o estudante 9 indicou respostas alternativas que poderiam ser escritas no espaço referente à letra d, conforme será apresentado na análise das questões 3 e 4. Em alguns casos os estudantes não selecionaram Verdadeiro ou Falso, justificativa A, B ou C e nível de certeza, de forma que nem sempre o somatório do número de respostas é 59.

Questão 3

A questão 3 (Figura 46) objetiva avaliar a compreensão dos estudantes sobre a estrutura do DNA, de forma a verificar se os alunos acham que o eixo da hélice é um componente físico do DNA, assim como se entendem que a expressão fita se refere à cadeia polimérica como um todo, não apenas ao esqueleto fosfodiéster. Além disso, a compreensão de como a cadeia polimérica é formada. Dessa forma, os alunos precisam assinalar como verdadeira ou falsa a afirmativa “São

componentes da estrutura molecular do DNA as fitas, as bases nitrogenadas e o eixo da hélice”, selecionar a justificativa correta e seu grau de certeza eu relação às

Questão 03. São componentes da estrutura molecular do DNA as fitas, as bases nitrogenadas e o eixo da hélice.

() Verdadeiro

() Falso

a) O eixo da hélice é um componente do DNA e a expressão fita se refere ao esqueleto fosfodiéster.

b) O eixo da hélice não é um componente do DNA e a expressão fita se refere à cadeia polimérica como um todo, que resulta da união de nucleotídeos por meio de ligações fosfodiéster.

c) O eixo da hélice não é um componente do DNA e a expressão fita se refere à cadeia polimérica como um todo, que resulta da incorporação de moléculas de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas.

d) _____

Meu nível de certeza para estas respostas é:

() Tenho certeza.

() Não tenho certeza.

() Eu “chutei” as respostas.

respostas.

Figura 46: Enunciado da questão 3 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 47: Desempenho na questão 3 (LOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Em resposta à questão 3, 48 estudantes selecionaram corretamente a alternativa Falso (F - 81%), porém dentre estes apenas 27 indicaram a justificativa correta relativa a alternativa B (FB - 46%), sendo que apenas 16 assinalaram “Tenho certeza” (FB1 - 27%), enquanto 10 afirmam “Não tenho certeza” (FB2 - 17%), conforme gráfico da figura 47. A seleção de “Não tenho certeza” pode indicar insegurança ou falta de conhecimento.

Dentre os alunos que selecionaram Falso, mas assinalaram a justificativa incorreta, 1 indicou a alternativa A (FA - 12%) e selecionou “Não tenho certeza”, enquanto 18 alunos indicaram a alternativa C (FC - 31%), dentre os quais 10 afirmam “Tenho certeza” (FC1 - 17%) e 8 afirmam “Não tenho certeza” (FC2 - 14%). A seleção da opção Verdadeiro foi indicada por 11 alunos (V - 19%), sendo as justificativas A, B e C indicadas, respectivamente, por 6, 2 e 2 alunos. Dentre os 6 estudantes que indicaram que a afirmação é verdadeira e selecionaram a justificativa A, 5 afirmam ter certeza de sua resposta (VA1 - 8%). A seleção de “Tenho certeza” e “Não tenho certeza” associada a respostas incorretas (V, A e C) pode indicar a presença de conceitos errôneos e/ou falta de conhecimento.

A frequência das justificativas incorretas pode indicar falta de conhecimento ou existência de conceitos errôneos por parte de quase metade dos participantes, ou seja, os 27 estudantes (46%) que selecionaram as alternativas A e C. No caso de seleção da alternativa A (12%), o estudante considera o eixo da hélice um componente físico da estrutura molecular do DNA, além de possuir o conceito de que a expressão fita se refere apenas ao esqueleto fosfodiéster e não à cadeia polimérica como um todo. No caso de seleção da alternativa C (34%), o aluno não considera o eixo da hélice um componente físico da estrutura molecular do DNA e sabe que a expressão fita se refere à cadeia polimérica como um todo, porém apresenta um erro conceitual referente a como a cadeia polimérica é formada, indicando uma deficiência na aprendizagem do DNA como biopolímero.

A representação esquemática da dupla hélice apresentada na capa do livro *Biologia Molecular do gene* (Figura 48), foi usada como base para formular a frase por se analisar que a representação poderia induzir uma interpretação errada sobre a formação da cadeia polimérica, visto que apresenta o eixo da dupla hélice e o esqueleto fosfodiéster como fitas e as bases como traços horizontais. De forma semelhante a representação da dupla hélice apresentada na questão 1 do pré e pós-teste poderia induzir tal interpretação, principalmente, considerando que as bases nitrogenadas apresentam cor distinta das fitas, como se não fizessem parte da fita, que seria composta apenas o esqueleto fosfodiéster.

Figura 48: Representação esquemática da dupla hélice apresentada na capa do livro *Biologia Molecular do gene* - Watson, J. D. 7ª edição, 2015.

O estudante 9 escreveu sua própria justificativa na alternativa D, “Considerando as fitas sendo os nucleotídeos com as ligações fosfodiéster e o eixo não é um componente.” A explicação proposta pelo aluno é semelhante a alternativa B, embora não expresse claramente que a expressão fita é análoga à cadeia polimérica.

Questão 4

A questão 4 (Figura 49) objetivou analisar aprendizagem em LOCS e HOCS referente ao conceito 4 apresentado na tabela 10. Dessa forma, foi formulada uma afirmação que se opõe ao conceito, à qual deve ser salientada como Falsa, sendo o acerto dessa parte considerado no nível de compreensão do conceito e, portanto, LOCS. Além disso, solicita-se uma justificativa correta (alternativa c) e a definição do nível de certeza, sendo a indicação da alternativa correta e seleção de Falso considerado aprendizagem em nível de HOCS.

Questão 04. O DNA é composto por duas cadeias poliméricas iguais, associadas por ligações de hidrogênio entre os pares de bases.

() Verdadeiro

() Falso

a) As duas cadeias poliméricas são associadas por ligações fosfodiéster entre os pares de bases.

b) As duas cadeias poliméricas iguais estão associadas por duas ligações de hidrogênio entre o par A-T e três ligações de hidrogênio entre o par C-G.

c) As duas cadeias poliméricas são distintas e complementares, estando associadas por duas ligações de hidrogênio entre o par A-T e três ligações de hidrogênio entre o par C-G.

d) _____

Meu nível de certeza para estas respostas é:

() Tenho certeza.

() Não tenho certeza.

() Eu “chutei” as respostas.

Figura 49: Enunciado da questão 4 (LOCS e HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Figura 50: Desempenho na questão 4 (LOCS e HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

A questão 4 apresentou 80% de respostas corretas (alternativa Falso - F), indicadas por 47 estudantes, dos quais 46 indicaram a justificativa certa referente a alternativa C (FC – 78%) e 44 selecionaram que têm certeza de sua resposta (FC1- 75%), conforme figura 49. A frequência de justificativas incorretas foi de apenas 7 alunos que selecionaram a alternativa B (12%). A opção Verdadeiro foi indicada por 12 estudantes (20%), dos quais 7 assinalaram a alternativa B e 3 indicaram C. A seleção de VC pelos 3 alunos apresenta uma relativa incongruência, considerando

que a justificativa diz que as cadeias são distintas, enquanto a afirmativa do enunciado diz que são iguais. Dentre os 7 estudantes que selecionaram VB (12%), 6 afirmam ter certeza de sua resposta incorreta referente a alternativa C (VB1 – 10%), o que pode ser indicativo de falta de conhecimento ou erro conceitual em relação complementariedade de bases do DNA.

O estudante 9 escreveu a seguinte justificativa na alternativa D: “As cadeias não são iguais, são complementares.” A frase é semelhante a alternativa C, embora não determine que a complementariedade é determinada entre pares de bases distintos e o número de ligações de hidrogênio existente entre os pares AT e CG.

Questão 5

A questão 5 (Figura 51) objetivou analisar aprendizagem em LOCS e HOCS referente ao conceito 5 apresentado na tabela 10. Dessa forma, foi formulada uma afirmação que expressa corretamente o conceito, à qual deve ser salientada como verdadeira, sendo o acerto dessa parte considerado no nível de compreensão do conceito e, portanto, LOCS. Além disso, solicita-se uma justificativa correta (alternativa c) e a definição do nível de certeza, sendo a indicação da alternativa correta e seleção de Falso considerado aprendizagem em nível de HOCS.

Questão 05. A temperatura necessária para abrir uma região de dupla hélice que possui a sequência de nucleotídeos 5' TATAATA 3' é menor do que para desenovelar uma região de dupla hélice que possui a sequência de nucleotídeos 5' GCGCCGC 3'.

() Verdadeiro

() Falso

a) A mesma temperatura abre as duas regiões da dupla hélice, 5' TATAATA 3' e 5' GCGCCGC 3'.

b) A abertura da região de dupla hélice que possui a sequência de nucleotídeos 5' TATAATA 3' requer menor temperatura devido, principalmente, ao menor número de ligações de hidrogênio que associam o par de bases adenina e timina em comparação com o par de bases citosina e guanina.

c) A abertura da região de dupla hélice que possui a sequência de nucleotídeos 5' TATAATA 3' requer menor temperatura devido, principalmente, à menor força das interações de empilhamento de bases que ocorrem entre os anéis aromáticos das bases adenina e timina sobrepostas em comparação com as bases guanina e citosina sobrepostas.

d) _____

Meu nível de certeza para estas respostas é:

() Tenho certeza.

() Não tenho certeza.

() Eu “chutei” as respostas.

Figura 51: Enunciado da questão 5 (LOCS e HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

A questão 5 apresentou 97% de média de acerto referente à opção Verdadeiro (V) selecionada por 57 estudantes, porém apenas o estudante 25 (2%) indicou a justificativa correta (alternativa C), embora tenha assinalado que não tem certeza de sua escolha (VC2). A justificativa errada que predominou foi a alternativa B, selecionada por 50 alunos (85%), enquanto a alternativa A foi indicada por apenas 1 aluno (2%). A opção Falso foi indicada por 2 estudantes (Figura 52).

Figura 52: Desempenho na questão 5 (HOCS) do pós-teste aplicado aos alunos de graduação.

Dentre os 49 estudantes que selecionaram corretamente a opção Verdadeiro, porém erraram a justificativa (alternativa B), 41 indicam que têm certeza de sua escolha (VB1 – 69%), o que pode ser um indicativo de falta de conhecimento ou erro conceitual sobre a estabilidade da dupla hélice.

A análise dos dois livros didáticos utilizados para seleção do conteúdo do tutorial, *Princípios de Bioquímica de Lehninger* (6ª edição) e *Biologia Molecular do Gene* (7ª edição), mostra que é enfatizado o papel das ligações de hidrogênio, mas também a importância do empilhamento de bases para a estabilidade da dupla hélice. O livro *Princípios de Bioquímica de Lehninger* esclarece o que são as interações de empilhamento e atribui a estas o fator que, predominantemente, contribui para a estabilidade da dupla-hélice, conforme extraído do livro:

O empilhamento também envolve a combinação de interações dipolo-dipolo e de van der Waals entre as bases. [...] A complementaridade entre as cadeias de DNA é atribuída à ligação de hidrogênio entre os pares de bases. As interações de empilhamento de bases, as quais são muito inespecíficas no que diz respeito à identidade das bases empilhadas, determinam a maior contribuição para a estabilidade da dupla-hélice. *Princípios de Bioquímica de Lehninger*, p. 289. (NELSON e COX, 2014).

O livro *Biologia Molecular do Gene* também explica o que são as interações de empilhamento de bases, mas não atribui claramente uma hierarquia para a contribuição para a estabilidade da dupla hélice. Pelo contrário, ao se referir as interações de empilhamento de bases usando a expressão “uma segunda contribuição”, poderia, inclusive, deixar espaço para interpretar as ligações de hidrogênio como principal contribuinte para a estabilidade, conforme extraído do livro:

A dupla hélice é estabilizada por pareamento de bases e empilhamento de bases [...] As ligações de hidrogênio não são a única força que estabiliza a dupla hélice. Uma segunda contribuição importante vêm das interações de empilhamento entre as bases. As bases são moléculas planares, relativamente insolúveis em água, e tendem a se empilhar umas sobre as outras, aproximadamente em posição perpendicular à direção do eixo

helicoidal. As interações das nuvens de elétrons (π - π) entre as bases nas pilhas helicoidais contribuem de forma significativa para a estabilidade da dupla hélice.

Biologia Molecular do Gene (7ª edição)

Outro fator que pode fazer com que os alunos tenham dificuldade em compreender as interações de empilhamento de bases como contribuintes majoritárias para a estabilidade da dupla hélice é o fato de que na disciplina de Química se aprende uma hierarquia de força dentre as ligações não covalentes, o que significa que, quando comparadas isoladamente, as ligações de hidrogênio são mais fortes do que as interações dipolo-dipolo e de Van der Waals. Assim, como as interações de empilhamento de bases são interações dipolo-dipolo e de Van der Waals, o empilhamento seria um menor contribuinte para a estabilidade da dupla hélice. Porém, essa análise errada desconsidera o DNA como um biopolímero, cuja energia de estabilização é resultante do somatório de todas as interações, sendo que o empilhamento se sobressai ao somatório de todas as ligações de hidrogênio.

Portanto, a seleção da justificativa incorreta por 50 alunos (85%), mostra que é um conceito de difícil compreensão e que pode estar relacionado a uma dificuldade de entender o DNA como biopolímero, devendo ser mais enfatizado em sala de aula, principalmente, considerando que o livro didático utilizado pelo aluno pode não deixar explícito que as interações de empilhamento de bases são as contribuintes majoritárias para a estabilidade da dupla hélice.

3.3.5 Análise comparativa dos questionários de pré-teste e pós-teste

3.4.1 Avaliação do *corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”: 5 conceitos

A média de desempenho no pré-teste foi 66% e no pós-teste foi 86%, de forma que todos os conceitos obtiveram aumento da média (Figura 53).

Figura 53: Desempenho em relação aos 5 conceitos avaliados simultaneamente no pré e pós-teste aplicados aos alunos de graduação.

Em relação às afirmações 1, 2 e 3, apresentadas na questão 2 do pós-teste, o desempenho médio dos estudantes foi de 91%, sendo superior ao pré-teste, 69%. Sobre as mesmas 3 afirmações, a média no pós-teste aplicado na pós-graduação foi de 78%.

A afirmativa “São componentes da estrutura molecular do DNA as fitas, as bases nitrogenadas e o eixo da hélice apresentada na questão 2 do pré-teste apresentou 49% de concordância, enquanto na questão 3 do pós-teste 81% dos estudantes indicaram que a afirmação é falsa. Porém a análise da questão 3 do pós-teste, apresentada anteriormente, evidenciou que embora os estudantes reconheçam o erro conceitual da afirmativa, apenas 46% é capaz de determinar corretamente a inconsistência da frase. Assim, existe um indicativo de que a

atividade auxiliou na elaboração do conceito, mas que é necessária uma abordagem mais direta do mesmo para melhor compreensão pelo restante dos alunos.

A afirmativa “O DNA é composto por duas cadeias poliméricas iguais, associadas por ligações de hidrogênio entre os pares de bases.”, apresentada na questão 2 do pré-teste apresentou 71% de concordância, havendo um aumento singelo na porcentagem de acerto na questão 3 do pós-teste 80%, onde os estudantes indicaram que a afirmação é falsa. O interessante é que 75% das respostas é referente a justificativa certa e à opção “Tenho certeza”, o que indica que os estudantes possuem bem fundamentado o conceito.

3.4.2 Performance média dos estudantes de graduação no pré-teste e pós-teste

A performance média dos estudantes foi significativamente superior no pós-teste em comparação com o pré-teste, o que foi verificado ao realizar um teste T uni caudal ($p = 0,05$) considerando-se as duas comparações apresentadas na tabela 14:

- porcentagem de acerto dos 5 conceitos no pré-teste (5conceitos-LOCS-Pré) versus no pós-teste (5conceitos-LOCS-Pós) e
- porcentagem total de acerto no pré-teste (LOCS/HOCS-Pré) versus no pós-teste (LOCS/HOCS-Pós).

Tabela 14: Comparação entre o desempenho no pré-teste e pós-teste dos alunos de graduação. ($p = 0,05$, teste T uni caudal)

Categoria	Mínimo	Máximo	Média	DP	t	p
5conceitos-LOCS-Pré	0,20	1,00	0,65	0,22	1,67	$1,97 \times 10^{-9}$
5conceitos-LOCS-Pós	0,40	1,00	0,86	0,16		
LOCS/HOCS-Pré	0,29	0,86	0,62	0,12	1,67	$2,64 \times 10^{-20}$
LOCS/HOCS-Pós	0,43	1,00	0,88	0,12		

3.4.3 Incremento na aprendizagem normalizado

O incremento na aprendizagem normalizado para cada estudante, foi calculado da mesma forma que na análise com a pós-graduação ($100 * (\% \text{Pós} - \% \text{Pré})$).

$\%Pré)/(100-\%Pré)$ (KNIGHT e WOOD, 2005). Foram comparadas apenas as médias de acerto em relação aos 5 conceitos, ou seja, (5conceitos-Q1-LOCS-Pré) *versus* (5conceitos-Q1-LOCS-Pós), sendo 21% a média do incremento na aprendizagem dos cinco conceitos. Em comparação com a pós-graduação a média no incremento na aprendizagem foi inferior, que está relacionado a dois fatores 1. os alunos já tinham tido aula de estrutura do DNA no mesmo semestre antes de utilizarem o tutorial, 2. o incremento na aprendizagem calculado para a pós-graduação abrange mais conteúdos e inclusive de maior grau de dificuldade, ou seja, os 9 conceitos do *corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”, enquanto apenas 3 desses conceitos foram avaliados na graduação. A figura 54 mostra a distribuição dos alunos em função das faixas de incremento de aprendizagem, acrescidas de 10%. Dentre os 59 alunos 39 (66%) obtiveram incremento acima de 20%.

Figura 54: Comparação dos incrementos de aprendizagem normalizados (% do acerto máximo possível) com acréscimos de 10%, evidenciando o número de alunos por faixa de incremento de aprendizagem. Incremento na aprendizagem foi calculado como $(100 * (\%Pós - \%Pré)) / (100 - \%Pré)$.

3.4.6 Análise Hierárquica de Grupos (HCA)

A Análise Hierárquica de Grupos (HCA) foi realizada no intuito de agrupar os estudantes em função do incremento na aprendizagem dos 5 conceitos apresentados na tabela 10. A figura 55 mostra o dendrograma no qual os estudantes foram separados em grupos referentes ao padrão de erro e acerto dos 5 conceitos no pré e pós-teste. O dendrograma é referente a uma matriz (59 x 10), composta por 59 linhas correspondentes a 59 alunos e 10 colunas referentes a acerto e erro dos 5 conceitos apresentados na tabela 10. Logo, são 5 colunas de acerto (1) e erro (0) no pré-teste e 5 colunas referentes a acerto (1) e erro (0) no pós-teste. O dendrograma evidenciou três grupos que apresentam 31% (0.314) de similaridade entre os indivíduos: grupo 1 (18 alunos), grupo 2 (15 alunos), grupo 3 (9 alunos) e grupo 4 (17 alunos).

Figura 55: Dendrograma obtido pelo HCA para a matriz (59 x 10) evidencia três grupos que apresentam 31% (0.314) de similaridade entre os indivíduos: grupo 1 (18 alunos), grupo 2 (15 alunos), grupo 3 (9 alunos) e grupo 4 (17 alunos).

Em relação ao incremento na aprendizagem dos 5 conceitos, dois grupos apresentam menor valor (grupos 2 e 3) e dois grupos (grupos 1 e 4) maior incremento, sendo: grupo 1 (36%), grupo 2 (12%), grupo 3 (9%) e grupo 4 (20%).

Figura 56: Contribuição percentual de cada grupo para o incremento na aprendizagem de cada um dos 5 conceitos apresentados na tabela 10.

O gráfico da figura 56 evidencia a contribuição de cada grupo para o incremento na aprendizagem de cada um dos cinco conceitos, no intuito de evidenciar em relação a cada grupo, quais conceitos ficaram mais bem estabelecidas após o uso do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”. A análise do gráfico possibilita verificar qual grupo contribuiu mais para a aprendizagem de cada conceito, sendo: conceito 1 (grupo 1), conceito 2 (grupo 1), conceito 3 (grupos 1 e 3), conceito 4 (grupos 1 e 2) e conceito 5 (grupo 4).

Sobre o conceito 3, todos os grupos apresentaram incremento, sendo um indicativo de que a influência do meio aquoso na formação dos domínios da dupla hélice não estava bem fundamentada mesmo nos grupos 3 e 2 representados por

indivíduos que acertaram mais no pré-teste. Este é um indicativo da importância de trabalhar esse conceito e de sua presença no *corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

Verifica-se em relação ao conceito 4, o caso de maior representatividade dos 4 grupos simultaneamente, ou seja, 12% de incremento relativos aos grupos 1 e 2, 8% dos grupos 3 e 4. Isto significa que nas 4 amostras separadas pelo HCA existem estudantes que concordaram no pré-teste (questão 2) com a afirmação errada “São componentes da estrutura molecular do DNA as fitas, as bases nitrogenadas e o eixo da hélice”. Isso significa que, antes de usar o tutorial, todos os 4 grupos tinham dificuldades em relação à composição do DNA e julgavam que o eixo é um elemento estrutural do mesmo, além de a expressão fita se referir apenas ao esqueleto fosfodiéster e não à cadeia polimérica como um todo (questão 3 pós-teste).

No entanto, após usar o material didático os alunos foram capazes de discordar da afirmativa, o que é um indicativo da atuação do tutorial na aprendizagem do conceito de biopolímero. Embora, este tenha se mostrado ser um conceito difícil de trabalhar, o que conforme análise da questão 3 do pós-teste, pode ser um indicativo de ser um conceito alternativo, visto que 31% dos alunos que discordaram da afirmação assinalaram a justificativa errada sobre a formação da cadeia polimérica.

Em consideração ao conceito 5, verifica-se que o grupo 4 (17 alunos), o qual apresentou o segundo maior incremento dos 5 conceitos (20%), foi responsável por 20% dentre os 22% de incremento do conceito. Isso significa que este grupo, antes de usar o tutorial, julgava que o DNA é composto por duas cadeias poliméricas **iguais** associadas por ligações de hidrogênio (questão 4 pós-teste). No entanto,

após usar o tutorial, 78% dos alunos discordaram da afirmação e selecionaram a justificativa correta, ou seja, referindo-se ao DNA como composto por duas cadeias poliméricas distintas e complementares.

Os grupos evidenciados pelo HCA serviram como base para seleção de estudantes para a realização de entrevistas. Foi selecionado um aluno pertencente a cada grupo de acordo com este ter acertado o conceito no pós-teste e errado no pré-teste, conforme indicado pelo número 1 apresentado nas colunas de C1 a C5 (Tabela 15). Além disso, a média de acerto do aluno deve ser representativa do incremento na aprendizagem dos 5 conceitos obtido pelo grupo.

Note que o estudante 25 do grupo 2, é representativo de incremento no acerto apenas do conceito 3 (C3 da tabela 15), não sendo um exemplo de estudante que errou no pré-teste e acertou no pós-teste os conceitos 4 e 5, dos quais o grupo 2 é representativo. Além disso, considerando que o incremento na aprendizagem do conceito 4 foi algo significativo para todos os grupos, não avalia-se este como um critério de diferenciação entre os grupos e, portanto, não seria necessário selecionar um estudante do grupo 2 que tivesse incremento neste conceito (C4). Assim, o aluno 25 foi selecionado por ter sido o único que escolheu a justificativa correta para a questão 5 HOCS do pós-teste, relacionada a importância das interações de empilhamento de bases para a estabilidade da dupla hélice do DNA.

Tabela 15: Desempenho dos três grupos evidenciados pelo dendrograma obtido pelo HCA, apresentado na figura 46.

Grupo	Estudante	C1	C2	C3	C4	C5	Incremento grupo	Incremento aluno
1	36	1	1	1	1	0	36%	80%
2	25	0	0	1	0	0	12%	20%
3	35	0	1	0	1	0	9%	20%
4	31	0	1	0	1	1	20%	60%

*C - Conceito

3.3.7 Percepção dos estudantes de graduação sobre o uso do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” e a atividade

A avaliação do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” pelos alunos de graduação em Medicina Veterinária e Enfermagem subdividiu as 16 afirmações relativas à percepção dos estudantes sobre o uso do tutorial e a atividade nos mesmos 5 critérios apresentados na aplicação com a pós-graduação:

1. Familiaridade com modos de representação tridimensional de moléculas;
2. Aprendizagem associada ao uso dos tutoriais interativos de moléculas 3D;
3. Usabilidade dos tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”;
4. Metodologia de desenvolvimento de tutoriais interativos de moléculas 3D;
5. Aceitação do tutorial como material didático.

A análise subsequente também foi a mesma, de forma que será apresentada a porcentagem de ocorrência das categorias concordo (C), concordo fortemente (CF), discordo (D) e discordo fortemente (DF), sendo a predominância de concordância ou da discordância em relação a cada afirmativa realizada, respectivamente, pelo somatório das porcentagens das categorias concordo fortemente (CF) com concordo (C) e discordo (D) com discordo fortemente (DF). Nas situações em que o somatório das porcentagens não é 100% significa que existiram alunos que não responderam ao item.

1. Familiaridade com modos de representação tridimensional de moléculas

O critério de familiaridade com os modos de representação tridimensional de moléculas (Figura 57), é expresso pelas afirmações 2, 4, 7 e 10.

Figura 57: Percepção dos estudantes de graduação sobre o critério de familiaridade com os modos de representação tridimensional de moléculas.

Sobre o item 4, há predominância de concordância (Enfermagem, 50% concordo e 8% concordo fortemente; Veterinária, 58% concordo e 15% concordo fortemente), indicando que a maior parte dos alunos de graduação, participantes da pesquisa, se considera familiarizado com os diferentes modos de representação 3D de moléculas que foram apresentados no tutorial. Esse item também teve predominância de concordância na atividade com a pós-graduação (30% C e 43% CF). A parcela de estudantes que discordou do item 4 (Enfermagem, 27% discordo e 15% discordo fortemente; Veterinária, 22% discordo e 3% discordo fortemente) é representativa da maior exposição dos alunos às figuras bidimensionais, extensamente documentada na literatura e expressa no comentário do estudante 25:

“Achei superinteressante o trabalho. As informações apresentadas no texto estavam em uma linguagem clara e de fácil entendimento. Contudo as imagens tridimensionais foram abstratas (mesmo com os textos indicativos)

para quem nunca teve acesso a esse tipo de forma de ensino anteriormente.”

A significativa parcela de alunos que não se considera familiar com as representações 3D é condizente com a predominante discordância em relação ao item 2 (Enfermagem, 31% discordo e 31% discordo fortemente; Veterinária, 49% discordo e 24% discordo fortemente): “Utilizo ferramentas de visualização de estrutura molecular 3D com frequência.”. A baixa frequência de utilização de softwares de visualização molecular pode estar relacionada ao não incentivo de uso dos mesmos pelo ensino formal, conforme expresso pela baixa concordância com o item 7 (Enfermagem, 12% concordo e 4% concordo fortemente; Veterinária, 17% concordo e 0% concordo fortemente): “Meus professores usavam softwares interativos com estrutura 3D de moléculas em suas aulas”. De forma semelhante aos alunos de pós-graduação, os alunos de Veterinária e Enfermagem costumam utilizar vídeos e animações como parte dos estudos, conforme concordância em relação à afirmação 10 (Enfermagem, 31% concordo e 46% concordo fortemente; Veterinária, 56% concordo e 7% concordo fortemente).

Nesse sentido, os resultados indicam uma congruência entre as respostas dos alunos de pós-graduação e graduação, de forma que se mostram interessados em utilizar recursos didáticos para estudar, mas que não costumam utilizar ferramentas de visualização molecular e também não são incentivados a fazê-lo, visto que a maioria dos professores destes alunos não costumava usar esse tipo de recurso didático em sala de aula.

2. Aprendizagem associada ao uso dos tutoriais interativos de moléculas 3D

O critério de aprendizagem (Figura 58) é expresso pelas afirmações 9 e 12.

Aprendizagem com o uso dos tutoriais "Estrutura do DNA" e "Estabilidade do DNA"

Figura 58: Percepção dos estudantes de graduação sobre o critério de aprendizagem com o uso do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

Assim como na avaliação com os alunos de pós-graduação, a relevância dos conteúdos apresentados no tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” fica evidente pela majoritária concordância em relação à afirmação 12 (Enfermagem, 46% concordo e 46% concordo fortemente; Veterinária, 63% concordo e 29% concordo fortemente): “Nos tutoriais aprendi conceitos que não conhecia antes”. Uma questão importante é que os alunos de graduação já tinham tido aula sobre estrutura do DNA antes de realizarem a atividade de aplicação do tutorial, de forma que a percepção destes de que aprenderam conteúdos novos salienta o papel do tutorial como ferramenta complementar ao ensino tradicional de aula expositiva.

Com relação ao impacto do uso dos tutoriais na motivação do aluno em aprender significativamente, verifica-se a predominante concordância nas respostas dos alunos de Enfermagem com a afirmação 9, relativa ao uso do tutorial ter aumentado o interesse do aluno pelo conteúdo (69% concordo e 15% concordo fortemente). Enquanto, apenas 44% dos alunos de Medicina Veterinária

concordaram com a afirmação 9 (41% concordo e 3% concordo fortemente). Porém, considerando que são alunos mais relacionados à área clínica, a concordância, mesmo baixa, é significativa e pode ser interpretada como uma percepção positiva. Além disso, o impacto do tutorial em aumentar o interesse pelo conteúdo também foi evidenciado pela percepção dos alunos de pós-graduação que assinalaram 73% da categoria concordo e 17% da categoria concordo fortemente.

A percepção de aprendizagem com o uso do tutorial fica evidente pelos comentários de alguns estudantes de Medicina Veterinária, conforme abaixo:

Estudante 16: “O conteúdo fornecido deveria ser aplicado a outras matérias, uma vez que visualizar o conteúdo facilita muito a compreensão e o entendimento de assunto.”

Estudante 25: “Achei superinteressante o trabalho. As informações apresentadas no texto estavam em uma linguagem clara e de fácil entendimento. [...]”

Estudante 28: “Gostei muito.”

Estudante 42: “Achei bem útil e me ajudou bastante, obrigada!”

Nesse contexto, ambos os públicos de graduação e pós-graduação, consideraram que o uso de tutoriais com animações interativas 3D favoreceu a aprendizagem, tendo relatado que aprenderam conceitos que desconheciam, mesmo já tendo tido aulas sobre o conteúdo e até mesmo sendo graduados em áreas correlatas à Biologia Molecular, como é o caso dos alunos de pós-graduação. Além disso, declaram que tiveram o interesse pelo conteúdo acentuado após o uso do *software* educativo.

Em relação ao conteúdo presente no glossário de conceitos químicos, existia na época de aplicação do tutorial com os alunos de graduação, explicações sobre conceitos químicos que foram requisitados na aplicação com os alunos de pós, tais como: interações iônicas, interações do tipo dipolo-dipolo, interações do tipo dipolo-permanente-dipolo-induzido e interações de dispersão de London (Interações de Van Der Waals). Além da explicação sobre o conceito de ligação de hidrogênio e

ligação fosfodiéster, que já estavam presentes na primeira versão do tutorial aplicada com a pós-graduação. Considerando que não houveram pedidos de adicionar mais definições pelos alunos de graduação e nem relatos de dificuldades em relação à compreensão destes conceitos químicos, avalia-se que a ampliação do glossário foi fundamental para melhoria do tutorial e para que este atue de forma mais eficiente na compreensão do conteúdo sobre a estrutura e a estabilidade do DNA.

3. Usabilidade do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”

O critério de usabilidade (Figura 59) é expresso nas afirmações 6 e 1/

Figura 59: Percepção dos estudantes de graduação sobre o critério de usabilidade do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

Existe predominância de escolhas nas categorias concordo e concordo fortemente, indicando que, assim como na pós-graduação, a maioria dos alunos de graduação aprova a interface do tutorial e as instruções disponíveis para navegabilidade. Em relação à afirmação 6: “A interface gráfica (desenhos, botões, cores etc) do tutorial são de fácil utilização.”, houve maior concordância pelos alunos

de graduação (Enfermagem, 38% concordo e 54% concordo fortemente; Veterinária, 56% concordo e 17% concordo fortemente) em comparação com a pós-graduação que apresentaram 35% de discordância.

Em relação à afirmação 1, “As instruções disponíveis no tutorial são suficientes para sua fácil utilização.”, também houve predominante concordância (Enfermagem, 65% concordo e 35% concordo fortemente; Veterinária, 56% concordo e 25% concordo fortemente).

O único comentário feito pela turma de Enfermagem foi realizado pelo Estudante 26: “Diferenciação das cores ajudou muito também.”. Este está relacionado ao princípio de Aprendizagem por Multimídia de Mayer da Sinalização, apresentado na diretriz 1.2.3 referente à integração de textos, diagramas, tabelas e animações moleculares 3D, que preconiza construir uma interface gráfica na qual as animações e o texto adotam o mesmo código de cores para cada elemento estrutural do DNA. Alguns estudantes de Medicina Veterinária fizeram sugestões para a melhoria e relataram pontos negativos do Tutorial Estrutura e Estabilidade do DNA, conforme expresso nos comentários abaixo:

Estudante 17, “As animações começam e não podem ser interrompidas até serem finalizadas. Achei isso um ponto negativo.”

Estudante 38, “Acho que apenas poderia consertar os pequenos problemas de visualização de algumas animações.”

Estudante 54, “O software deveria ter som ou até alguém explicando para ser mais dinâmico.”

Estudante 55, “Seria bom se houvesse áudio com as animações, explicando-as.”

Em relação aos comentários sobre a visualização das animações, avalia-se que sejam representativos de problemas referentes às três animações que apresentam a superfície molecular do DNA, conforme discutido na seção de percepção dos alunos de pós-graduação. Isso ocorreu mesmo com as medidas realizadas para tentar evitar tal problema, as quais consistiram em: i. Enfatizar

durante a atividade que na execução dessas animações existe uma parada de cerca de um minuto, mas que depois a execução do restante da animação ocorre normalmente ii. Exibir no momento em que a animação para a seguinte legenda “Aguarde: calculando superfície molecular”, no intuito de informar ao usuário que a parada na execução da animação é momentânea.

Em relação aos comentários sobre inserir áudio na animação existe uma inviabilidade técnica, além de não ser condizente com o Princípio de Redundância da Teoria de Aprendizagem por Multimídia de Mayer, adotado no desenvolvimento do tutorial. Outra impossibilidade técnica é parar a animação antes do final, uma vez que o JSmol executa o código de cada animação até o final. A divisão do tutorial em unidades conceituais, com animações menores visa, inclusive, minimizar essa limitação técnica, à medida que apresenta animações com curta duração, se comparado ao que seria caso as animações das 13 unidades conceituais estivessem em apenas uma longa animação, semelhante a um vídeo.

4. Metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D

As afirmações 5, 8 e 3 (Figura 60) são destinadas a avaliar a percepção dos alunos sobre a metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas.

Princípios adotados na metodologia de desenvolvimento de tutoriais moleculares

Figura 60: Percepção dos estudantes de graduação sobre o critério de metodologia de desenvolvimento do tutorial "Estrutura e Estabilidade do DNA".

As afirmações, assim como na avaliação com a pós-graduação, apresentam significativa maior incidência nas categorias concordo e concordo fortemente. A concordância com o item 5 (Enfermagem, 58% concordo e 42% concordo fortemente; Veterinária, 74% concordo e 22% concordo fortemente) indica que os estudantes aprovaram a sequência de conteúdos apresentados pelas 13 unidades conceituais (tabela 3).

Conforme discutido previamente, a concordância valora os 7 princípios de organização do conteúdo, determinados na metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas 3D. Em especial, a concordância com o item 8 (Enfermagem, 58% concordo e 42% concordo fortemente; Veterinária, 69% concordo e 22% concordo fortemente), indica que os alunos de graduação, assim como os de pós, consideram que a organização do tutorial em perguntas e respostas facilita a compreensão dos conceitos sobre estrutura e estabilidade do DNA.

Em relação ao princípio de introduzir os estudantes aos diferentes modos de representação tridimensional de moléculas para favorecer a compreensão das animações, expresso pelo item 3, verifica-se a predominância da concordância

(Enfermagem, 42% concordo e 39% concordo fortemente; Veterinária, 64% concordo e 22% concordo fortemente). Nesse sentido, os estudantes julgam importante aprender sobre os diferentes modos de representação tridimensional de moléculas antes de iniciar a realização do tutorial. Portanto, o resultado indica que os alunos de graduação e pós-graduação, participantes deste estudo, julgam os princípios da metodologia como potencializadores da aprendizagem sobre estrutura e estabilidade do DNA.

5. Aceitação do tutorial como material didático

O critério de aceitação do tutorial como material didático (Figura 61), é expresso pelas afirmações 11, 13, 14 e 15.

Figura 61: Percepção dos estudantes de graduação sobre o critério de aceitação do uso de tutoriais de moléculas.

Existe predominância de escolhas nas categorias concordo (C) e concordo fortemente (CF), indicando que a maior parte dos alunos considera o tutorial um recurso valioso para o aprendizado de estrutura e estabilidade do DNA.

Sobre o item 11, “Usaria novamente o tutorial para estudar os conceitos”, apenas 5% dos estudantes de enfermagem assinalaram a categoria discordo, sendo que os demais concordaram (Enfermagem, 35% concordo e 65% concordo fortemente; Veterinária, 73% concordo e 20% concordo fortemente). Da mesma forma que com os alunos de pós-graduação, a disposição em usar novamente o tutorial está relacionada à percepção dos estudantes de que aprenderam conceitos que desconheciam e tiveram o interesse pelo conteúdo acentuado, conforme avaliado pelos itens 9 e 12 (Figura 33, pós-graduação e figura 58, graduação).

Com relação à afirmação 13, “Se eu fosse professor usaria o tutorial com meus alunos”, houve predominância de concordância (Enfermagem, 42% concordo e 58% concordo fortemente; Veterinária, 63% concordo e 32% concordo fortemente). Os alunos também afirmam que gostariam de conhecer tutoriais de estrutura molecular sobre outros assuntos, conforme concordância com o item 14 “Gostaria de conhecer tutoriais de estrutura molecular sobre outros assuntos.” (Enfermagem, 35% concordo e 65% concordo fortemente; Veterinária, 73% concordo e 20% concordo fortemente). Na avaliação com a pós-graduação o item 14 é numerado como 15, sendo que a maioria dos alunos (52% C e 39% CF) também indicou que gostaria de conhecer tutoriais sobre outras moléculas.

Em relação ao item 14, referente à afirmação “A utilização da figura esquemática da dupla hélice associada com as animações facilitou a minha compreensão da estrutura do DNA.”, apenas 2% dos alunos de Veterinária

assinalaram a categoria discordo, de forma que houve predomínio de concordância (Enfermagem, 50% concordo e 50% concordo fortemente; Veterinária, 73% concordo e 24% concordo fortemente). Esse item não foi avaliado na aplicação com a pós-graduação, sendo no lugar avaliada a afirmação 14. “Enquanto aluno de graduação gostaria de ter utilizado tutoriais como este.” A percepção dos estudantes de que a associação entre as representações bidimensional e tridimensional auxilia a compreensão da estrutura do DNA valoriza a adoção do princípio 6 da metodologia, que consiste em apresentar uma unidade conceitual de revisão de conteúdo por meio da associação entre um diagrama bidimensional da molécula com animações interativas 3D da molécula.

Com relação ao tempo de realização da atividade em sala de aula ter sido adequado, referente ao item 15, destaca-se a maior parcela de concordância (Veterinária, 58% concordo e 37% concordo fortemente). O tempo de atividade com a graduação foi duas horas para usar apenas o tutorial Estrutura e Estabilidade do DNA, enquanto na pós-graduação os alunos tiveram duas horas para realizar dois tutoriais “Estrutura e Estabilidade do DNA” e “Estabilidade do DNA”. Além disso, a primeira aplicação forneceu os subsídios necessários para readequar a formulação dos questionários de pré e pós-teste ao curto tempo de realização da atividade. A percepção dos estudantes de Veterinária mostra que tais alterações foram necessárias e proveitosas para a aprendizagem dos alunos.

3.3.8 Entrevistas semi-estruturadas

Foram entrevistados quatro alunos de Medicina Veterinária selecionados a partir da análise do HCA, conforme previamente descrito na página 201 (Tabela 15). As entrevistas foram realizadas para obter mais informações e corroborar as seguintes tendências identificadas na análise dos questionários de pré e pós-teste: i. a validade da metodologia proposta neste trabalho para o desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D; ii. a efetividade do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” em auxiliar na aprendizagem do corpus conceitual sobre estrutura e estabilidade do DNA, ou seja, na abordagem do DNA como biopolímero; iii. o auxílio do tutorial na interpretação de diferentes modos de representações externas 3D.

Também objetivou-se verificar a opinião dos quatro estudantes em relação a pontos positivos, negativos e possibilidades de melhoria a cerca dos princípios da metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas. Além disso, a realização da entrevista possibilita descobrir detalhes que por vezes passam despercebidos apenas pela aplicação de questionários e observações do pesquisador durante a atividade.

Segundo MINAYO (2009, p. 64)

Entrevista, tomada no sentido amplo de comunicação verbal, e no sentido restrito de coleta de informações sobre determinado tema científico, é a estratégia mais usada no processo de trabalho de campo. Entrevista é acima de tudo uma conversa a dois, ou entre vários interlocutores, realizada por iniciativa do entrevistador. Ela tem o objetivo de construir informações pertinentes para um objeto de pesquisa, e abordagem pelo entrevistador, de temas igualmente pertinentes com vistas a este objetivo.

A entrevista semi-estruturada, segundo MINAYO (2009, p.64)

Combina perguntas fechadas e abertas, em que o entrevistado tem a possibilidade de discorrer sobre o tema em questão sem se prender à indagação formulada.

Nesse sentido, o roteiro de perguntas não deve ser rígido a ponto de impedir a expressão do respondente a seu modo, mesmo que este siga uma linha de raciocínio distinta da esperada pelo pesquisador. A ordem das perguntas deve ser flexível, podendo ser alterada de acordo com a sequência do raciocínio do respondente. Além disso, o pesquisador pode inserir perguntas não previstas, caso essas sejam valiosas para o contexto da pesquisa (BARROS, 2014).

A formulação do roteiro da entrevista semi-estruturada baseou-se nos indicativos quantitativos obtidos pelos questionários e pelas observações realizadas pela pesquisadora no momento da atividade. Foram apresentadas animações 3D do DNA, assim como a figura esquemática da dupla hélice como fitas, apresentada na questão 1 do pré e pós-teste, no intuito de avaliar o papel de tais representações externas na aprendizagem dos conceitos sobre estrutura e estabilidade do DNA.

3.3.8.1 Desenvolvimento das entrevistas

A realização das entrevistas ocorreu no período de março a abril de 2017 no estúdio do LABIQ (Laboratório Integrado de Química e Bioquímica), que dispõe de ambiente adequado para gravação de áudio. No intuito de possibilitar a análise das regiões do DNA indicadas pelos respondentes quando visualizando as animações tridimensionais de moléculas, foi procedida a gravação da tela do computador e do áudio, utilizando o programa Gravador de Tela Pro da Apowersoft e o gravador de

áudio do Windows 10. A duração média das entrevistas foi de 40 minutos, sendo mínimo 36 e máximo 49 minutos.

Considerando as questões éticas, antes do início da entrevista, foi solicitado aos estudantes a leitura e a assinatura a um termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE J), que continha as informações sobre a pesquisa e caráter voluntário da participação, podendo cancelar, a qualquer momento, sua participação na pesquisa. Em seguida a condução da entrevista observou as seguintes práticas: apresentação da pesquisadora e explicação dos motivos da pesquisa em linguagem de senso comum, justificativa da escolha do entrevistado, garantia do anonimato e sigilo, conversa inicial (aquecimento) (MINAYO, 2009). Durante a apresentação inicial os participantes foram previamente informados que seriam gravado a tela e o áudio para possibilitar posterior análise da entrevista e das regiões do DNA indicadas pelos estudantes com o cursor do *mouse* ao responderem determinadas perguntas que envolvem a visualização de animações 3D. Assim, foi requisitado aos alunos que sempre ao falar sobre determinado conceito ou elemento estrutural do DNA indicassem a região com o cursor do *mouse*.

As entrevistas foram transcritas em sua totalidade, considerando que foram realizados relevantes comentários pelos estudantes além das evidenciadas pelas perguntas inicialmente elaboradas para descrever o objeto de pesquisa deste estudo. Também foram transcritas expressões, entonações, risos, etc.

3.3.8.2 Análise das entrevistas semi-estruturadas

A análise das entrevistas possibilitou verificar a opinião dos quatro estudantes em relação aos princípios da metodologia de desenvolvimento de tutoriais de

moléculas e a respeito do uso de animações tridimensionais interativas para a aprendizagem, considerando as questões apresentadas no APÊNDICE K.

Com relação ao uso de animações interativas 3D, foi um consenso entre os quatro estudantes, independente do seu desempenho na atividade, que visualizar a estrutura tridimensional do DNA auxiliou na aprendizagem sobre o conteúdo de estrutura do DNA. Na fala dos estudantes é possível verificar que o estudante 25 (APÊNDICE N) considera difícil imaginar uma molécula e que em sala de aula as cadeias são mostradas como “retas”, enquanto o estudante 35 (APÊNDICE M) diz que as animações ajudam muito porque “não é aquela coisa plana”. A fala dos estudantes mostra que a possibilidade de manipular, ou seja, interagir com as animações ajuda na compreensão de conceitos, sendo que o estudante 31 (APÊNDICE L) diz que “quando você consegue mexer é bem mais fácil de entender as ligações”, complementado pelo estudante 36 (APÊNDICE O) “consegue entender melhor o funcionamento do DNA, como que se ligam as bases.”, conforme as respostas a seguir:

Estudante 25: Eu considero que sim, porque... é muito difícil você imaginar uma molécula, entende? Quando a gente aprende em sala de aula são sempre aquelas duas cadeias só e é uma coisa... parece que é uma coisa reta e não tem uma... um giro, não dá para entender, ah! "duas voltas no DNA ou fenda maior, fenda menor", fica mais difícil. Eu acho que quando tem um vídeo aí você consegue entender melhor a angulação e tudo mais.

Estudante 31: [...] acho que ajudou bastante porque na aula é muito... quando tem imagem é aquela imagem meio... você não entende direito mesmo, quando você consegue mexer é bem mais fácil de entender as ligações também... acho que ajudou sim, ajudou bastante!

Estudante 35: [...] quando você consegue ver a coisa tridimensional, você dá uma estrutura para ela, eu acho que isso ajuda, não é uma coisa plana, eu acho que ajuda bastante.

E36: Eu acredito que sim, mesmo principalmente pra vê né como que funciona a dupla hélice, os espaços que têm né, aquele espaço entre as cadeias e entre as duas fitas. Ah, eu não sei explicar direito ((risos)). Mas

para mim ajudou porque aí a gente consegue entender melhor né o funcionamento do DNA, como que se ligam as bases, as estruturas que formam o DNA, porque que forma a hélice. Das estruturas que se atraem por um lado e se repelem pelo outro, por isso forma. Aí isso pra mim é bom. Eu prefiro na verdade quando têm alguma coisa pra eu vê porque aí fica mais fácil de eu explicar isso na vida, assim...

Com relação às dificuldades de interpretação das representações tridimensionais de moléculas, os estudantes 25 e 31, mencionam que possuem dificuldades, possivelmente em função de não utilizaram muito recursos de visualização tridimensional de moléculas em sala de aula. Isto faz com que não possuem familiaridade com os modos de representação e com as formas de manipulação da estrutura 3D, possibilitadas pelo visualizador molecular, tais como aumentar e diminuir o zoom, rotacionar a molécula, etc. Enquanto o estudante 36 afirma não saber avaliar se têm dificuldade exatamente por não usar com frequência a visualização molecular, conforme expresso em seu comentário "A gente nunca viu muito na verdade. É basicamente tudo no papel [...]". O estudante 35 diz que na tinha dificuldades, mas que o tutorial ajudou na aprendizagem e que hoje acha que não possui mais dificuldades de interpretar representações tridimensionais de moléculas, conforme expresso nas seguintes respostas:

Estudante 25: Às vezes eu tenho algumas dificuldades, porque não é uma coisa comum em si, entende? Eu tive um pouco de... dessa representação em Bioquímica, mas não é algo recorrente. Então você vê esporadicamente, e aí acaba não tendo essa familiaridade, então às vezes fica um pouco difícil. Mas quando elas vêm coloridas, aí, "essa ponta está de vermelho. Isso aqui, tal coisa", identificava e aí eu acho que fica mais fácil.

Estudante 31: Eu não sei se... se na aula não tem muito, então assim por isso que a gente não... não, acaba não vendo muito essa parte. Mas, eu tinha dificuldade sim, ainda tenho hoje.

Estudante 35: É, um pouco, mas, agora é melhor, só que na época me ajudou, e às vezes, quando você começa a ver, eu acho quando você começa a ver coisa assim, na sua cabeça fica mais fácil depois pra você reproduzir assim, então eu acho que agora não mais.

Estudante 36: É. Mas acho que não sei. A gente nunca viu muito na verdade. É basicamente tudo no papel mesmo então não, não sei se eu consigo explicar pra você se eu realmente tenho ou se eu não tenho dificuldade.

Os alunos afirmam que a utilização do tutorial acarretou em melhoria das habilidades em interpretar representações tridimensionais de moléculas, mesmo os alunos 25 e 31, que consideram que ainda possuem dificuldades de interpretação, conforme expresso nas respostas abaixo:

Estudante 25: Eu acho que houve, sim. Porque o tutorial era uma coisa passo a passo e eu lembro que... acho que tinha alguma coisa escrita, assim, não tinha? Aí passava devagarzinho, girava, assim, salientava cada parte. Então eu achei que foi bom para mim [...].

Estudante 31: É, eu acho que sim... eu não lembro direito mesmo, mas... eu lembro que você mostrava bem tipo as ligações assim, de como que era. Eu lembro que na parte da matéria de bioquímica, que a gente teve antes de bio mol ((Biologia Molecular)) eu não entendia nada dessas ligações, tipo... ela só falava e eu ficava, mas como tem uma ligação aí atrás. Aí como deu pra mexer ficou bem mais fácil de entender depois.

Estudante 35: Sim, eu acho que sim, apesar, eu acho que isso fica um pouco gravado na memória depois pra você construir de novo, facilita, então eu acho que sim.

Estudante 36: Acho que sim. Por causa da manipulação mesmo. Dava pra gente rodar ele (a molécula de DNA) até... ((risos))

A manipulação das animações interativas 3D como estratégia de ensino mais dinâmica, teve um papel fundamental na construção do conhecimento pelo aprendiz, conforme salientado nos diálogos da pesquisadora com os estudantes 31 e 36:

P: O fato de você poder mexer na molécula te ajudou a visualizar a ligação?

E31: Sim. Porque ela explicando as vezes você não entende e fica tipo, hum... você sabe que ela fala que é tridimensional, você tenta imaginar, mas é mais complicado. Quando você consegue vê é mais fácil.

P: Mais fácil do que quando você vê a representação bidimensional?

E31: Sim.. aí se ela fala pra você imaginar você tenta imaginar, mas não sai igualzinho como acho que é o certo.

Pesquisadora: E com você manipulando?

Estudante 36: Eu prefiro. Sim. Acho mais interessante. ((risos)). É, porque aí não fica uma coisa só passiva né, não é só você recebendo informação,

você tentando construir a sua informação em cima daquilo, então [...] Ajuda a conectar as coisas pra mim ((risos)).

Com relação aos princípios da metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas, as respostas dos estudantes confirmam a análise feita a partir do questionário de percepção, que salientou a opinião dos alunos de que os princípios são favoráveis à aprendizagem sobre estrutura e estabilidade do DNA.

Sobre o princípio 7, referente a apresentar explicação sobre os diferentes modos de representação 3D da molécula antes de iniciar o tutorial, os estudantes consideram que as explicações são importantes para favorecer a compreensão das animações que vão ser visualizadas a seguir no tutorial, conforme evidenciado nas respostas abaixo:

E25: Eu acho que sim, porque como é que você vai entender algo que vêm depois e está relacionado com isso se você não têm um conhecimento prévio do que está sendo mostrado?

P: Dos diferentes tipos de representações?

E25: É, dos diferentes tipos de representações. Eu, pelo menos, não sabia que existe tanta diferença. Então para mim foi importante.

Estudante 31: Eu acho que é bom saber que têm outros tipos também de representar porque às vezes você vai encontrar outros tipos em outros. Tal professor usa um tipo, cada professor usa um tipo às vezes e para você entender é bom você saber.

Estudante 35: Sim, mas antes mostrar a molécula como é em si, e daí você mostrar ela é assim, só que eu posso representar ela de várias formas, daí você mostra isso, talvez facilite, pelo menos pra mim eu acho que facilitaria, eu ver, mas eu não sei os outros.

E36: Ai eu acho que é ((risos)), porque eu sinceramente não sei a diferença porque que têm tantas fórmulas pra você representar a mesma molécula.

Os comentários dos alunos evidenciaram a importância do princípio de realizar a transição gradual entre os modos de representação 3D e indicar a mudança por meio de legenda, conforme abaixo:

Estudante 25: Sim, tem que ser gradual, porque você consegue perceber a diferença entre elas. Dá para ter mais atenção. Quando é muito rápido ou quando só passa de uma para a outra, assim, rapidinho, você não consegue perceber... e visualizar, por exemplo, essa estrutura estava de uma maneira naquela molécula, aí nessa representação ela está de uma outra maneira, mas é a mesma estrutura. Então fica mais fácil para você identificar a mesma estrutura em diferentes representações.

E31: Sim... É que nem aquele outro não dá para vê as bases, aí você sabe que a base está lá dentro, só que não... naquela representação não dá para vê. [...] Acho que sim, porque, é... pra mim é sempre mais fácil ter texto pra explicar porque as vezes só falando também, fala que a maior é a fenda maior, mas as vezes você não consegue vê.

E35: Eu acho importante sim, eu acho que você localiza mais no... às vezes, tudo bem, tem um texto explicativo e depois mostra a animação, mas eu acho melhor quando a... não sei se isso aqui é uma animação, mas vai e aparece um e mostra fenda menor, e aí mostra o outro, eu acho que ajuda. [...] Torna mais rápido o entendimento, às vezes, você lê o texto, aí você vê a imagem, e aí você tenta associar, aí aparece ((o texto próximo ao que se deseja salientar na molécula)), aí você já classifica melhor o que é uma coisa, o que é outra, eu acho útil. [...] Sim, sim, eu acho, e ler o texto dentro da animação, e ter as coisas indicando. Eu acho legal, não o texto, um texto pra dar, mas tipo algumas maior, menor, as duas fendas, e a dupla hélice, eu acho...

E36: Eu acho. É porque eu não sei, não adianta pra mim só aparecer as imagens e eu não está entendendo nada e continuar não entendendo nada, ficar olhando... ah que bonito!

P: Então, por exemplo, quando aparece ligação fosfodiéster ((legenda: Ligação fosfodiéster))...

E36: Ajuda. ((risos))

P: Próximo a aquilo que está sendo indicado, que está sendo mostrado né?!

E36: Sim, sim.

P: Essa parte de piscar você acha que é importante?

E36: Ah, é bom pra chamar atenção.

Com relação ao princípio 4, referente a organizar a sequência de unidades conceituais por meio de uma sequência de perguntas e respostas sobre a estrutura da molécula, os alunos consideram que favorece o aprendizado sobre estrutura do DNA, conforme elaborado nos comentários abaixo.

Estudante 25: Eu acho que favorece. Eu acho que melhora, sim. Eu aprendo melhor dessa maneira. Na minha opinião, com pergunta e resposta. É, porque... eu acho que fica mais dividido, sabe? Você não tem que ficar depois meio que procurando as coisas em um texto, já está mais fácil de ter aquela informação.

Estudante 31: É, acho que sim, também é mais fácil de você lembrar eu acho talvez, quando você está estudando, porque só ter o texto, se você, sei lá você marca a pergunta que estava e você tentando responder também você lembra das imagens.

Estudante 35: Eu acho que sim, eu particularmente gosto, e às vezes, se eu já tivesse estudado a matéria, "Como são estabelecidos os domínios hidrofílicos e hidrofóbicos da dupla hélice?" ((Leitura do Título da unidade conceitual)) Eu tento responder, se eu por exemplo já tivesse estudando a matéria, eu tentaria responder, e depois eu olharia a resposta pra ver se estava certo. E se eu tivesse estudando... "Como é formado?", eu vou ver como é formado, eu acho legal, esse de pergunta e resposta, sim, e a visualização também eu acho uma coisa importante.

E36: Acho que sim porque as perguntas eram bem relacionadas ao texto que tava escrito, se bem que eu não lembro das perguntas ((risos)). Mas como o texto, assim basicamente a gente lia o texto e vamos procurar o que o texto falou na hora, na estrutura, aí procurava vê se tinha achado tudo, aí achamos tudo... ah, então vamos pro próximo. Eu acho que ajuda sim a guiar os estudos, facilita. Assim o que é importante de ver nessa hora, nesse lugar, nessa molécula a gente consegue vê isso, isso e isso. Ah, então tá. Próxima molécula.

P: Então você lia o texto e depois procurava o que você tinha lido no texto na animação?

E36: Sim. Uhum.

P: Entendi.

E36: Aí se não dava pra vê aumentava ((risos))

O princípio 6 também que foi considerado valioso pelos alunos para favorecer a aprendizagem, que consiste em apresentar, sendo que foi consenso na resposta dos alunos que estão acostumados a visualizar o DNA em figuras esquemáticas, de forma que a associação entre um modo de representação familiar com um não familiar ajuda na aprendizagem do conteúdo.

E25: Isso é importante, porque o que a gente está acostumado a ver é assim ((Representação esquemática da dupla hélice como fitas)), né? Assim ((Representação tridimensional do DNA)) não está acostumado. Então é bom quando você consegue ver a mesma coisa, mas de maneiras diferentes. Não fica aquela... impressão de que o DNA é uma molécula, assim, (plana), é reta, aqui. O DNA, entendeu?

P: Quando você vê essa figura esquemática você têm essa ideia?

E25: Eu tenho, não consigo imaginar o DNA como uma molécula que dá volta, sabe?

Estudante 31: Ah, acho que sim porque a gente está acostumado a ver essa imagem, então eu acho que relacionando essa que a gente vê bastante com a tridimensional é mais fácil pra pessoa relacionar o que ele aprendeu com a forma do DNA mesmo.

Pesquisadora: O que ele aprendeu, o que ele aprendeu você diz assim que ele viu nas aulas e tal?

Estudante 31: Sim. Porque provavelmente ele vai vê essa imagem aqui primeiro, antes de tudo, então...

Estudante 35: Eu acho, que nem o que eu dizia no colégio, ou mesmo na sala sem animação, é isso que a gente vê, pra mim eu só vejo pauzinhos e formando algumas coisas que a gente dá os nomes, e aí vê, é uma coisa mais, não sei se palpável, mas pra mim ajuda a ver, e aí, eu acho legal, eu particularmente eu acho que ajuda.

Pesquisadora: Associação da bidimensional com a tridimensional?

Estudante 35: Sim, você coloca uma coisa mais real no papel, você vê, e se você vê e lembrar disso daqui eu acho muito útil.

Estudante 36: Ah, eu acho que sim. Porque a gente está muito acostumado a vê bidimensional também, então não sei, eu tenho dificuldade de relacionar um com o outro. Aí eu acho que é legal porque a gente lembra quantos carbonos têm em cada lugar e fica procurando e como cada átomo tá de uma cor diferente, é átomo né? Está de uma cor diferente, então dá para... seria legal se os átomos estivessem da mesma cor, assim ((risos))

Outro ponto considerado positivo pelos alunos 25 e 32 foi o fato de o recurso didático ficar disponível online, não sendo necessário baixar nenhum programa e ser possível de usar em casa, não apenas na universidade. Além disso, possibilitou que o estudante 25 utilizasse o tutorial para estudar para a prova em casa, conforme evidenciado nos seguintes comentários:

Estudante 31: [...] Isso aqui é tipo site né? Não é programa que você baixa.

Pesquisadora: É site, fica online.

Estudante 31: É bem mais prático também.

E25: Eu acho que é, ainda mais porque esse tutorial depois ficava disponível, se você quisesse acessar em casa, não estava?

P: Uhum.

E25: Então, isso é bom, porque você não tem esse acesso só aqui na faculdade. Aí se você quiser estudar depois, relembrar alguma coisa, você pega e pode estudar.

P: Você chegou a usar ele ((o tutorial)) depois?

E25: Eu estudei depois, eu fiz prova, né?

P: Mas você chegou a usar o tutorial para estudar?

E25: É.

Como contribuição adicional, o estudante 25 sugeriu que se utilizasse o tutorial como recurso avaliativo, conforme comentário a seguir:

E25: É, eu acho que as imagens, assim, poderiam ser... vocês usarem em uma avaliação durante o ensino. Então, por exemplo, você faz uma prova teórica. Aí você vai perguntar como é... do que é composta a molécula de DNA, beleza. Aí chega na... depois faz uma prova prática e aí você tem essas imagens e você indica, porque eu acho que ficaria mais consolidado, até porque ele ((o aluno)) ia fazer... saberia descrever, e quando ele visse a molécula, ele ia saber indicar cada região também. ((Sugestão de avaliação semelhante ao formato do pós-teste aplicado para a graduação))

P: Você diz, por exemplo, para que o aluno quando vir essa molécula, para ele mesmo indicar que aqui é o fosfato, aqui é a desoxirribose, aqui é a base...

E25: É. Isso.

Ao final da entrevista foi perguntado aos estudantes se tinham pontos negativos sobre o tutorial que gostariam de falar. Foi novamente mencionado que algumas animações travavam, sendo que as entrevistas com os estudantes 31 e 35 possibilitaram relacionar os comentários apresentados no pós-teste sobre as paradas nas animações com a possibilidade de problemas de uso inadequado do botão de zoom.

O diálogo abaixo é referente a entrevista com a estudante 35 e evidencia o problema que o estudante teve ao apertar várias vezes o botão de zoom sem esperar a execução do comando, ou seja, a ação de aproximar a molécula. Com isso a animação paralisa e faz a molécula ficar muito próxima ou muito distante, no caso de apertar o botão várias vezes para diminuir o zoom.

Estudante 35: Dar um zoom... Vixi, travou.

Pesquisadora: Espera um pouquinho...

Estudante 35: Eu acho que eu apertei demais.

Pesquisadora: É que demora um pouco pra responder, aí quando isso acontece de apertar muito... [...]

Pesquisadora: Eu queria que você comentasse os pontos negativos, e você falou que fica travando né? [...]

Estudante 35: Sim, mas era só se, que nem aqui agora, clica, clica, clica, é só ter cuidado com o programa.

Estudante 31: [...]Acho que o zoom não estava funcionando direito quando a gente mexia.

P: Ah, tá. Possivelmente porque...

E31: Mais, mas é só isso mesmo.

P: Aconteceu aquele mesmo problema que você viu aqui né. Que as vezes o programa demora um tempo pra responder né? É aí a pessoa vai clicando no zoom...

E31: E vai travando tudo.

O ponto positivo é que isso é um problema fácil de ser resolvido, precisando apenas enfatizar com os alunos que precisa apertar apenas uma vez o botão de zoom e esperar a ação. Mesmo com os problemas com a animação o estudante 35 relata que o uso do tutorial possibilitou lembrar dos conceitos, “Ajuda a lembrar de tudo”, conforme diálogo abaixo:

Estudante 35: [...] eu lembro de achar o tutorial bom, eu não lembro de ter nada, assim, só que trava uma coisinha ou outra, mas aí não é o tutorial em si, é o programa, então não é a... a culpa não é do tutorial, mas é, acho que é, é que assim, eu não consigo falar muita coisa, porque eu não lembro, mas, eu lembro de ter gostado, isso eu posso... até porque, quando a gente fez aquele primeiro, eu não lembrava de muita coisa, depois que eu fiz o tutorial eu consegui associar várias coisas.

Pesquisadora: Quando você fez o teste lá na sala, você não lembrava de muita coisa, depois que você fez o tutorial você lembrou?

Estudante 35: Ajuda a lembrar de tudo [...].

O estudante 25 ao ser solicitado a respeito de pontos negativos ressalta que o uso do tutorial foi bem positivo, conforme sua fala: “Não, não teve nenhum ponto negativo, pelo contrário, eu acho que eu... foi bem positivo.”

Na entrevista com o estudante 25, o único que escolheu a justificativa adequada para a questão 5 HOCS do pós-teste determinando as interações de empilhamento de bases como maior contribuinte para a estabilidade da dupla hélice do DNA, verifica-se que o estudante não se recorda mais se as interações de empilhamento de bases ou as interações de hidrogênio contribuem mais para a estabilidade da dupla hélice, conforme diálogo abaixo:

P: Entre as interações empilhamento de bases e as ligações de hidrogênio, você se recorda qual das duas contribui mais para a estabilidade da dupla hélice?

E25: Eu acho que ligações de hidrogênio.

P: É?

E25: Não sei. Não lembro.

P: Você não lembra por quê... Se eu te perguntasse por que você acha que é a ligação de hidrogênio?

E25: Hum... não, eu acho que talvez seja o empilhamento de bases. É que eu não lembro direito porque esse empilhamento de bases era importante. Mas eu sei que ele tinha alguma relação de deixar a molécula assim, que ia tá, que ia diferir alguma coisa lá, que tinha que ter empilhamento de bases, não lembro o que era.

O fato de o aluno não se recordar mais do conceito, em conjunto com o predomínio da alternativa incorreta selecionada por 50 alunos (85%) para a questão 5 HOCS do pós-teste, evidencia ainda mais a dificuldade de compreensão da estabilidade do DNA.

Durante a entrevista foi solicitado aos estudantes que analisassem uma representação tridimensional do DNA (Figura 62), no intuito de indicar elementos estruturais e conceitos dos quais se recordavam. A representação salienta o esqueleto fosfodiéster e deixa as bases nitrogenadas em coloração transparente, além de não representar as ligações de hidrogênio entre os pares de bases.

Os quatro estudantes manipularam a animação usando os comandos de zoom e rotação, tendo sido solicitado que indicassem com o cursor do *mouse* qualquer conceito ou elemento estrutural que quisessem salientar durante sua explicação. O círculo amarelo é referente à posição do cursor do *mouse* na tela do computador.

Figura 62: Representação tridimensional da dupla hélice do DNA apresentada durante as entrevistas.

O estudante 31 foi o primeiro a ser entrevistado, tendo salientado com o cursor do *mouse* a região das bases nitrogenadas e se referido a elas como ligações de hidrogênio, conforme representado pela figura 63, referente à gravação da tela do computador durante a entrevista e expresso no comentário do estudante “Essa daqui dá para ver as ligações não é? Essas aqui são as ligações entre as bases. Esqueci o nome também.”.

Figura 63: Indicação das bases nitrogenadas como sendo ligações de hidrogênio pelo estudante 31.

O estudante 36 foi o segundo a ser entrevistado, tendo salientado com o cursor do *mouse* a região das bases nitrogenadas e se referido a elas como ligações de hidrogênio, conforme representado pela figura 64, referente à gravação da tela do computador durante a entrevista e expresso no diálogo abaixo:

Essa daqui são as mesmas ligações né que estavam no outro, até que dá para vê se têm duas pontes ou três pontes, mas eu, calma que...hum... nossa, eu to girando já o...

P: Fica tranquila, você pode mexer do jeito que você quiser.

E36: É, eu não consigo vê se têm dois ou três porque eu não tenho muitas habilidades ((risos)).

P: Na verdade, elas ((Ligações de hidrogênio)) não estão representadas nessa animação...

E36: Ah, não?! Ah, achei que tava...

Figura 64: Indicação das bases nitrogenadas como sendo ligações de hidrogênio pelo estudante 36.

O estudante 35 foi o terceiro a ser entrevistado, porém não mencionou sobre as ligações de hidrogênio durante a análise da representação da dupla hélice, embora tenha sido um dos alunos que selecionou apenas a região do esqueleto fosfodiéster (sem indicação do traço horizontal da base nitrogenada) como sendo o nucleotídeo na representação da dupla hélice, conforme tabela 12.

O estudante 25 foi o último a ser entrevistado, sendo que, novamente, as bases nitrogenadas foram salientadas como sendo ligações de hidrogênio, conforme representado pela figura 65, referente à gravação da tela do computador durante a entrevista e expresso no comentário: “Então, aqui tem as ligações de hidro... aqui eu acho que é ligação de hidrogênio.”

Figura 65: Indicação das bases nitrogenadas como sendo ligações de hidrogênio pelo estudante 25.

A indicação do par de bases nitrogenadas como sendo ligações de hidrogênio pelos estudantes 25, 31 e 36, em conjunto com a análise da representação esquemática da dupla hélice da questão 1 do pós-teste, salientou a possibilidade de os alunos 35 e 42 que selecionaram como nucleotídeo apenas a região da fita (representativa do esqueleto fosfodiéster), também considerarem o traço horizontal entre as duas fitas (representativas do esqueleto fosfodiéster) como sendo as ligações de hidrogênio. Assim como o fato de os estudantes 28 e 42 terem selecionado a região entre bases nitrogenadas na representação esquemática da

dupla hélice, como sendo as ligações de hidrogênio. Em especial, o estudante 42 que também salientou o nucleotídeo como sendo apenas a região do esqueleto fosfodiéster, porém na representação tridimensional ele foi capaz de delimitar corretamente o nucleotídeo e as ligações de hidrogênio (Figura 66).

Figura 66: Indicação da região referente ao nucleotídeo e às ligações de hidrogênio pelo estudante 42.

Considerando também a indicação do nucleotídeo como apenas a região da base nitrogenada por sete alunos e a seleção particionada da base nitrogenada e da região do esqueleto fosfodiéster pelo estudante 48 (tabela 12), verificou-se a necessidade de explorar mais as dificuldades de interpretação da representação esquemática da dupla hélice (Figura 66, representação 1) e da representação tridimensional do DNA (Figura 62). Para tal, foi solicitado que o estudante 25 que

manipulasse a estrutura 3D para verificar se este também visualizaria a presença de ligações de hidrogênio, mesmo estas não estando representadas na animação. Durante o diálogo com o aluno foi possível evidenciar que este também achou, inicialmente, que as ligações de hidrogênio estavam presentes na representação 3D. Porém, ao manipular a estrutura molecular, o estudante conseguiu reinterpretar e concluir que o que estava indicando como ligações de hidrogênio era na realidade os pares de bases nitrogenadas, conforme o diálogo a seguir:

E25: É, porque... não sei, se aqui forem as... aqui for uma base, mas eu não sei o que é isso aqui, entendeu? Tipo... se isso for uma base, então... e aqui for outra base complementar a ela, pode ser que seja. Mas pode ser que... não sei, seja uma outra interação.

P: Você lembra qual era a composição de um nucleotídeo?

E25: Era uma desoxirribose, uma base nitrogenada e um fosfato.

P: Então nessa animação, você consegue salientar para mim onde que você está vendo o nucleotídeo? Se não conseguir, não tem problema.

E25: Eu acho que o nucleotídeo é esse aqui, né? Isso aqui. Não sei. Porque parece que tem uma desoxirribose ((Indicando com o mouse a desoxirribose)).

P: Tem uma desoxirribose, isso aí que você está mostrando assim ((Indicando com o mouse a desoxirribose)), essa é a desoxirribose.

E25: Aí, aqui eu acho que é grupo fosfato ((Indicando com o mouse o fosfato))...

P: Uhum. E a base?

E25: Acho que é essa, então. ((Indicando com o mouse uma base nitrogenada))

P: É.

E25: A base.

P: Porque nessa animação não está representada as ligações de hidrogênio.

E25: Sim, a base, é verdade.

P: Quer ver, deixa eu dar um zoom.

E25: A base... então, essa aqui está interagindo com essa outra base, ah, estou ligada.

P: Isso.

E25: É, se pensar assim faz sentido, olhando a desoxirribose, realmente, interação entre bases.

P: Você lembra, olhando agora de perto, onde seria as interações de empilhamento de base?

E25: Interações de empilhamento?

P: É.

E25: Então seria isso aqui. ((Indicando com o mouse a região entre as bases nitrogenadas sobrepostas em uma mesma cadeia))

P: Exatamente.

E25: Interação de empilhamento.

Posteriormente na entrevista quando perguntado ao estudante 25 se prefere aprender sobre a estrutura de DNA por meio de uma aula expositiva ou usando o tutorial, o aluno argumenta que é melhor a união dos dois recursos. Nesse momento esclarece que interpretou as bases nitrogenadas como sendo ligações de hidrogênio porque na escola e na faculdade costuma desenhar o DNA como uma representação esquemática bidimensional, equivalente à representação 1 (Figura 66) apresentada nas questões 1 do pré-teste e pós-teste aplicado na atividade com a Veterinária. Enfatiza que quando visualizou a representação tridimensional a primeira imagem com a qual estabeleceu uma analogia foi a representação 1 e que a possibilidade de manipular a estrutura 3D, rotacionando-a e aproximando do elemento estrutural que estava observando foi o que o ajudou a descobrir que as bases nitrogenadas não são as ligações de hidrogênio, conforme o diálogo abaixo:

E25: Eu acho que é melhor quando são unidos os dois né. Porque que nem na aula é legal, eu acho que nenhum dos dois separados não se conversam, se falar para aprender só pelo tutorial, não dá. E aprender só pela aula, eu acho que também fica vago. Eu teria que ter os dois. Para mim, para realmente aprender. Porque eu nunca tinha pensado muito bem... que nem assim, você olha... por que eu achei que isso aqui fosse ligação de hidrogênio? ((Indicando com o mouse a região das bases nitrogenadas na animação do esqueleto fosfodiéster)) Porque quando você aprende na escola, na faculdade, como é que você desenha uma molécula de DNA? Exatamente assim, né? (00:29:17)

P: Assim?

E25: É, assim. E não faz todo o sentido pensar que isso aqui ((Indicando com o mouse a região das bases nitrogenadas na animação do esqueleto fosfodiéster))... tipo, às vezes está pensando, "ligação de hidrogênio", porque olha, não parece? [...] porque você olhando ele parado aqui e aí a primeira imagem que te vem à cabeça é aquela que está lá no livro...

P: Que é essa aqui. ((Figura representação esquemática da dupla hélice – Figura 47))

E25: Que é essa. E aí você, "nossa..." e isso a vida inteira você aprendeu assim, desde a escola, sobre a molécula de DNA, entendeu? Então aquilo já está... e aí depois até você mudar e pensar, "nossa, não, não é bem assim".

3.4 Conclusão

A aplicação de questionários de pré e pós-teste possibilitou avaliar o potencial do tutorial na aprendizagem de Estrutura e Estabilidade do DNA, tendo sido fundamental a avaliação com diferentes públicos alvo. Nesse sentido, a efetividade do material didático na atividade com os alunos de graduação, da mesma forma que com os estudantes de pós-graduação, evidenciou: i. a aprendizagem da abordagem do DNA como biopolímero, considerando a maior porcentagem de acerto dos 5 conceitos referentes ao *corpus* conceitual do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA” no pós-teste em relação ao pré-teste, além da concordância por parte de 92% dos alunos com a afirmação “Nos tutoriais aprendi conceitos que não conhecia antes”; e ii. a percepção dos alunos deixou claro que o material didático foi valorizado, tanto pelo conteúdo conceitual quanto pelo fato de auxiliar no desenvolvimento das habilidades de interpretar representações externas, principalmente as tridimensionais, sobre as quais, novamente, a maioria dos alunos afirma não ter contato.

A análise dos questionários e das entrevistas possibilitou evidenciar três possíveis conceitos alternativos: i. formação da cadeia polimérica como sendo a junção da base nitrogenada a um esqueleto fosfodiéster previamente existente; ii. o eixo como sendo um componente físico da estrutura da dupla hélice do DNA; e iii. A atribuição das ligações de hidrogênio como fator predominante na contribuição para a estabilidade da dupla hélice. Com relação ao último conceito, apenas 1 dentre os 59 alunos indicou as interações de empilhamento de bases como fator primordial de estabilidade. Isso pode estar relacionado com a ênfase que a disciplina de química concede às ligações de hidrogênio, as quais são mais “fortes”, quando considerado

isoladamente, em relação as interações de Van Der Waals. Além disso, alguns livros de Bioquímica também salientam mais a importância das ligações de hidrogênio entre os pares de bases nitrogenadas, até por uma questão da explicação de processos como replicação e transcrição.

Nesse sentido, o trabalho reforçou a necessidade da abordagem dos conteúdos sobre estrutura e estabilidade do DNA considerando uma perspectiva que possibilite salientar os conceitos alternativos, no intuito de favorecer a aprendizagem dos conceitos cientificamente corretos.

Durante a análise de uma representação 3D da dupla hélice na entrevista, três dentre os quatro alunos entrevistados, indicaram as bases nitrogenadas como sendo ligações de hidrogênio, as quais não estavam representadas. Isso evidenciou a importância de, não somente da capacidade de raciocínio do aprendiz e de seu conhecimento prévio para a interpretação, mas também do modelo no qual o conhecimento está representado externamente, isto é, a representação externa utilizada para o ensino e a aprendizagem de estrutura e estabilidade do DNA. Ao mesmo tempo, também mostrou a potencialidade da manipulação da estrutura 3D, ou seja, da interatividade do recurso didático, uma vez que um dos estudantes foi capaz de perceber seu equívoco ao manipular a estrutura molecular do DNA. Assim, verificou-se o potencial do tutorial no desenvolvimento da literacia visual dos estudantes, mesmo não tendo sido um objetivo deste trabalho desenvolver essa habilidade de forma direta.

Em relação à metodologia de desenvolvimento de tutoriais de moléculas com animações interativas 3D, o melhor desempenho dos estudantes de graduação e de pós-graduação após o uso dos tutoriais evidenciou a elegibilidade das 5 etapas da

metodologia e, conseqüentemente, a viabilidade em aplicar o referencial teórico de Aprendizagem por Multimídia de Mayer. Assim sendo, as premissas adotadas para a seleção dos conceitos, percurso de exploração e modos de interação adotadas neste estudo podem ser utilizadas para a elaboração de outros tutoriais de moléculas. Além disso, a percepção positiva dos estudantes sobre o uso dos recursos didáticos sugere o papel destes como ferramenta engajadora dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem sobre estrutura e estabilidade do DNA.

Tendo em vista que a atividade de uso dos tutoriais possuiu apenas 2 horas de duração e que os alunos não tiveram ajuda de um professor ou monitor para ajudar a sanar possíveis dúvidas sobre o conteúdo, condissera-se que é razoável inferir que o impacto na aprendizagem poderia ser ainda maior com o auxílio do professor estimulando a metacognição dos estudantes, enfatizando as limitações e as potencialidades de cada modo de representação 3D para apresentar determinado conteúdo.

4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, E. R. C. Análise da percepção e conhecimento de professores em sala de aula do ensino fundamental em escolas municipais sobre o transtorno do déficit de atenção e hiperatividade [dissertação]. Universidade Regional Integrada do Alto do Uruguai e das Missões. Pró-Reitoria de Pesquisa, Extensão e pós-graduação, Departamento de Ciências Humanas. 2014.

BAUER, M. W.; AARTS, B. A construção do corpus: um princípio para a coleta de dados qualitativos. Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som. Petrópolis: Vozes, 2002.

BLOOM, B. S.; ENGELHART, M. D.; FURST, E. J. Taxonomia de objetivos educacionais. 1. Domínio cognitivo. Ed. Globo – Porto Alegre, 8ª edição, p. 179, 1983.

BRAGA, J. C. Objetos de aprendizagem, volume 1: introdução e fundamentos. Editora da UFABC, v. 1, p. 148, 2014.

BRITO, G. F.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

CARDOSO, R. S.; BOZZI, L. D.; MARSON, G. A. Representações moleculares tridimensionais no ensino superior de Química: análise do conteúdo de livros introdutórios e sítios na internet. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2011.

CICUTO, C. A.; TORRES, B. B. Implementing an Active Learning Environment To Influence Students Motivation in Biochemistry. Journal of Chemical Education, v. 93, n. 6, p. 1020-1026, 2016.

CONDON, A. Designed DNA molecules: principles and applications of molecular nanotechnology. Nature Reviews Genetics, v. 7, n. 7, p. 565-575, 2006.

COIMBRA, R. L.; NETO, A. S. A.; ECHEVESTE, S. S.; DA SILVA, J. A necessidade da atualização para o ensino de genética. Revista de Iniciação Científica da ULBRA, n.3, p. 208-216, 2004.

COSTA, J. M. Trabalho em pequenos grupos: dos mitos à realidade. Medicina (Ribeirão Preto), v. 47, n. 3, p. 308-313, 2014.

COSTA, M. J.; GALEMBECK, E.; MARSON, G.A.; TORRES, B. B. A quick guide for computer-assisted instruction in computational biology and bioinformatics. PLoS Computational Biology, v. 4, n. 4, p.1-3, 2008.

EYQUEM, J.; MANSILLA-SOTO, J.; GIAVRIDIS, T.; SJOUKJE J. C.; SJOUKJE, J. C.; HAMIEH, M.; CUNANAM, K. M.; ODAK, A.; GONEM, M.; SADELAIN, M. Targeting a CAR to the TRAC locus with CRISPR/Cas9 enhances tumour rejection. Nature, v. 543, n. 7643, p. 113-117, 2017.

FERRAZ, A. P. do C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. *Gestão e Produção*, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 421-431, 2010.

FERREIRA, P.; JUSTI, R. A abordagem do DNA nos livros de biologia e química do ensino médio: Uma análise crítica. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte), v. 6, n. 1, p. 38-50, 2004.

FLORES-MORALES, P.; CAMPOS-REQUENA, V. H.; GATICA, N.; MUNOZ, C. Teaching Polymer Science in the Department of Polymers at the University of Concepción, Chile: A Brief History. *J. Chem. Educ.* v. 94, p. 1702-1714, 2017.

FONTENELLE, M. dos S.; CAMPOS, F. L. Proposta de modelo didático como facilitador do ensino da estrutura do DNA em uma escola pública na região meio norte do Piauí. *Revista Espacios*, v.38, n.45, p. 21, 2017.

GUIMARÃES, M. Uma ferramenta para editar o DNA. *Revista FAPESP*, v. 240, n. 4, p. 38-41, 2016.

HENDRES, C. A.; KAIBER, C. T. A utilização da informática como recurso didático nas aulas de Matemática. *Acta Scientiae*, v. 7, n. 1, p. 25-38, 2005.

JANN, P. N.; LEITE, M. F. Jogo do DNA: um instrumento pedagógico para o ensino de ciências e biologia. *Ciência e Cognição*, v. 15, n. 1, p. 282-293, 2010.

JAMIESON, S. Likert scales: how to (ab)use them. *Medical Education*. v. 38, n. 12, p.1217-1218, 2004.

KNIGHT, J. K.; WOOD, W. B. Teaching more by lecturing less. *Cell Biology Education*, v. 4, p.298-310, 2005.

LEE, J; PAEK, I. In Search of the Optimal Number of Response Categories in a Rating Scale. *Journal of Psychoeducational Assessment*, v. 32, n. 7, p. 663–673, 2014.

LOCATELLI, S. W. Tópicos de Metacognição – para aprender e ensinar melhor. Curitiba: Appris, 2014.

LOZANO, L.; GARCÍA-CUETO, E.; MUÑIZ, J. Effect of the Number of Response Categories on the Reliability and Validity of Rating Scales. *Methodology*, v. 4, n. 2, p. 73-79, 2008.

NELSON, D.L; COX, M.M. Princípios de Bioquímica de Lehninger. 6ª ed. São Paulo: Sarvier, Capítulo 8, Nucleotídeo e Ácidos nucléicos, p. 289, 2014.

LEMONS, P. P.; LEMONS, J. D. Questions for Assessing Higher-Order Cognitive Skills: It's not Just Bloom's. *Life Sciences Education*, v. 12, p. 47-58, 2013.

MA, H.; MARTI-GUTIERREZ, N.; PARK, S.; WU, J.; LEE, Y.; SUZUKI, K.; KOSKI, A.; JI, D.; HAYAMA, T.; AHMED, R.; D, C. V.; LI, Y.; KANG, E.; PARK, A-REUM.; KIM, D.; GONG, J.; XU, X.; BATTAGLIA, D.; KRIEG, A. A.; LEE, D. M.; WU, A. H.; WOLF, D. P.; HEITNER, S. B.; BELMONTE, J. C. I.; AMATO, P.; KIM, J-S.; KAUL, A.;

MITALPOV, S. Correction of a pathogenic gene mutation in human embryos. *Nature*, v. 548, p. 413–419, 2017.

MOURA, J.; MEIRELES DE DEUS, M.; GONÇALVES, N.; PERON, A. *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, v. 34, n. 2, p. 167-174, 2013.

MNGUNI, L. E. The theoretical cognitive process of visualization for Science education. *Springerplus*, v. 3, p. 184, 2014.

MNGUNI, L. E.; SCHÖNBORN, K.; ANDERSON, T. Assessment of visualisation skills in biochemistry students. *South African Journal of Science*, v. 112, n. 9/10, p.112, 2016.

MAYER, R. E. *The Cambridge Handbook of Multimidea Learning*. 1a ed. Capítulo 3, *Cognitive Theory of Multimidea Learning*, p.31, 2005.

MAYER, R. E., MORENO, R. Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, v. 12, p. 107-119, 2002.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. *Aprendizagem Significativa*. 2nd ed. São Paulo: Centauro, p. 111, 2006.

NAHUN, T. L.; HOFSTEIN, MAMLOK-NAAMAN, R.; BAR-DOV, Z. Can Final Examinations Amplify Students' Misconceptions in Chemistry? *Chemistry Education: Research Report (Empirical Study)*, v. 5, n. 3, p. 301-325, 2004.

OLIVE, P. L. BANÁTH, J. P. The comet assay: a method to measure DNA damage in individual cells. *Nature Protocols*, v. 1, p. 23-29, 2006.

OLIVEIRA, S. de A. P. *Conceitos alternativos sobre radicais livres: origens, prevalência e intervenções [dissertação]*. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Química, Departamento de Bioquímica. 2016.

PADILHA, I. Q. de M.; PEREIRA, M. G. Proposta de atividade dinâmica como ferramenta de ensino da estrutura do DNA. *Revista Genética na Escola*, v.3, n.2. p. 28-31, 2008.

QUADROS, A. L. de; DA-SILVA, D. C.; SILVA, F. C.; ANDRADE, F. P. de; ALEME, H. G.; TRISTÃO, J. C.; OLIVEIRA, S. R.; SANTOS, L. J.; DeFREITAS-SILVA, G.. The knowledge of chemistry in secondary education: difficulties from the teachers' viewpoint. *Revista Didáctica de La Química. Educ. Quím*, v.3, p. 232-239, 2011.

QUELOZ, A. C.; KLYMKOWSKY, M. W; STERN, E. Diagnostico of students' misconceptions using the Biological Concepts Instrument (BCI): A method for conducting an educational needs assessment. *Plos One*, p.12, 2017.

SANTOS, A. A. A. O Cloze como Técnica de Diagnóstico e Remediação da Compreensão em Leitura. *Interação em Psicologia*, v.8, p. 217-226, 2004.

SILVA, M.; ORLANDO, T.; COTULIO, V.; GOUVÊA, C. Os conceitos de gene e DNA por alunos ingressantes na UNIFAL-MG e a efetividade da dramatização como estratégia de ensino de Biologia Molecular. *Revista de Ensino de Bioquímica*, v. 12, n. 2, p. 24-36, 2014

SILVEIRA, J.; DA ROCHA, J. Produção científica sobre estratégias didáticas utilizadas no ensino de Bioquímica: uma revisão sistemática. *Revista de Ensino de Bioquímica*, v. 14, n. 3, p. 7, 2016.

SHANK, J. D. The emergence of learning objects: The reference librarian's role. *Research Strategies*, v. 19, p. 193 – 203, 2003.

SCHÖNBORN, K. J.; ANDERSON, T. R. The importance of visual literacy in the education of biochemists. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, v.34, n. 2, p. 94-102, 2006.

TERUYA, L. C.; MARSON, G. A.; Ferreira, C.; Arroio, A. Visualização no ensino de química: apontamentos para a pesquisa e desenvolvimento de recursos educacionais. *Química Nova (Impresso)*, v. 36, n. 4, p. 561-569, 2013.

TOWNS, M. H.; RAKER, J. R.; BECKER, N.; HARLE, M.; SUTELIFFE, J. The biochemistry tetrahedron and the development of the taxonomy of biochemistry external representations. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 13, p. 296-306, 2012.

TREAGUST, D.; DUIT, R.; NIESWANDT, M. Sources of student's difficulties in learning Chemistry. *Educ. Quím.*, v. 2, n. 11, p. 228-239, 2000.

ZHANG, C.; LIU, J.; ZHONG, J. F.; ZHANG, X. Engineering CART-T cells. *Biomarker Research*, v. 5, n. 22, p. 2-6, 2017.

ZOLLER, U. Algorithmic, LOCS and HOCS (chemistry) exam questions: Performance and attitudes of college students. *International Journal of Science Education*, v. 24, n. 2, p. 185-203, 2002.

ZOLLER, U.; FASTOW, M.; LUBEZKY, A. Student's Self-Assessment in Chemistry Examinations Requiring Higher- and Low-Order Cognitive Skills. *Journal of Chemical Education*, v. 76, n. 1, p.112-113, 1999.

ZHOU, Y. LI, Y. The application and Assessment of Problem-Based Learning Methods in Biochemistry Classes. *Science Publishing Group*, v. 2, n. 2, p. 44-49, 2017.

WHITE, B.; KIM, S.; SHERMAN, K.; WEBER, N. Evaluation of molecular visualization software for teaching protein structure differing outcomes from lecture and lab. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, v. 30, n. 2, p. 130-136, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Referências bibliográficas usadas no desenvolvimento de conteúdo para os tutoriais "Estrutura do DNA" e "Estabilidade do DNA":

1. Juo, Z. et al. How Proteins Recognize the TATA Box. *Journal of Molecular Biology*, v. 261, n. 2, p. 239-254, 1996.
2. Marmorstein, R. et al. DNA recognition by GAL4: structure of a protein-DNA complex. *Nature*, v. 356, n. 6368, p. 408-414, 1992.
3. Chen, C. Russu, I. Sequence-Dependence of the Energetics of Opening of AT Basepairs in DNA. *Biophysical Journal*, v. 87, n. 4, p. 2545-2551, 2004.
4. SantaLucia, J.; Allawi, H.; Seneviratne, P. Improved Nearest-Neighbor Parameters for Predicting DNA Duplex Stability †. *Biochemistry*, v. 35, n. 11, p. 3555-3562, 1996.
5. Yakovchuk, P.; Protozanova, E.; Frank-Kamenetskii, M. D. Base-stacking and base-pairing contributions into thermal stability of the DNA double helix. *Nucleic Acids Research*, v. 34, n. 2, p. 564-574, 2006.
6. Ho, P. S., Carter, M. DNA Structure: Alphabet Soup for the Cellular Soul. InTech - Open Science Open Minds, InTechOpen. 2011.
7. Rocha, W. R. Interações Intermoleculares. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*. N° 4 – Maio 2001.
8. Watson, J. D. *Molecular biology of the gene*. 7th ed. 2015.

APÊNDICE B

Atividade guia para a realização do tutorial “Estrutura e Estabilidade do DNA”.

Nome do aluno: _____

Questão 01 - O texto a seguir contém lacunas. Indique o melhor conteúdo para completá-las dentre os listados abaixo, utilizando o número correspondente ao conteúdo escolhido. Se necessário, use um conteúdo mais de uma vez.

1 [adenina]	10 [empilhamento de bases]	19 [ligações de hidrogênio]
2 [água]	11 [fenda maior]	20 [ligações fosfodiéster]
3 [antiparalela]	12 [fenda menor]	21 [meio aquoso]
4 [base nitrogenada]	13 [fosfato]	22 [monômeros]
5 [cadeias poliméricas]	14 [grupos químicos]	23 [proximidade]
6 [cargas negativas]	[guanina]	24 [desoxirribose]
7 [citosina]	hidrofílico]	25 [sequência]
8 [conformação]	hidrofóbico]	26 [sobreposição]
9 [direcionalidade]	hidroxila]	27 [timina]

O DNA é composto por duas [] associadas como uma dupla hélice, formadas por quatro [] distintos, denominados nucleotídeos. Em cada nucleotídeo identifica-se os seguintes grupos químicos: um [], uma [], e uma [], a qual pode ser [], [], [] ou []. A [] de nucleotídeos no DNA codifica a informação genética do organismo. Numa cadeia, os nucleotídeos estão unidos por meio de ligações covalentes, denominadas [], em que o grupo [] de um nucleotídeo está ligado ao carbono 5' da desoxirribose e ao carbono 3' da desoxirribose do nucleotídeo anterior e assim sucessivamente. Essa ligação estabelece uma [] a cada cadeia polimérica, que inicia-se no grupo [] ligado ao carbono 5' da desoxirribose do primeiro nucleotídeo e termina com um grupo [] ligado ao carbono 3' da desoxirribose do último nucleotídeo.

A associação de duas cadeias poliméricas ocorre por meio de [] entre bases nitrogenadas, de forma que a [] faz duas [] com a [] e a [] faz três [] com a []. Em cada cadeia polimérica, as bases nitrogenadas adjacentes estabelecem o chamado [], que são interações eletrostáticas favorecidas por: 1. [] entre os pares

de bases empilhados (0.34 nm), 2. comprimento próximo dos dois pares de bases AT e CG que [] os anéis planares das bases nitrogenadas adjacentes, favorecendo a interação entre esses, 3. efeito [] do meio aquoso sobre as bases nitrogenadas que promove o [] e diminui a exposição da base nitrogenada à [], estabelecendo o domínio [] voltado para o interior da dupla hélice. Além disso, o meio aquoso da célula exerce um efeito [] sob o grupo fosfato que determina as [] do esqueleto fosfodiéster, as quais interagem com o [], estabelecendo o domínio [] da dupla hélice. Portanto, o meio aquoso influencia no estabelecimento das interações que estabilizam a dupla hélice: as interações de [] entre bases nitrogenadas adjacentes, as [] entre pares de bases nitrogenadas e as interações entre as cargas negativas do grupo [] com o meio aquoso da célula.

As duas cadeias poliméricas estão orientadas de forma [] como consequência da orientação [] de um nucleotídeo em relação ao seu complementar. Dessa forma, as extremidades superior e inferior da dupla hélice apresentam, respectivamente, um grupo [] ligado ao carbono 5' da desoxirribose e um grupo [] ligado ao carbono 3' da desoxirribose. A orientação [] das duas cadeias de DNA resulta na formação da [] e da [], que expõem [] das bases nitrogenadas que são aceptores e doadores de ligação de hidrogênio. Esses [] interagem por meio de [] com proteínas. Em geral, as proteínas que fazem reconhecimento de sequência específica de nucleotídeos interagem com os [] expostos na [] da dupla hélice, porém algumas interagem com a [].

APÊNDICE C

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – Pós-graduação

Termo de consentimento

Concordo em participar, como voluntário, da atividade de pesquisa intitulada “Estrutura e estabilidade do DNA” que tem como responsável a aluna de pós-graduação Larissa Assis Barony Valadares Fonseca do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, orientada por Guilherme Andrade Marson. Os responsáveis podem ser contatados pelo e-mail larissabarony@gmail.com e gamarson@iq.usp.br. A presente atividade tem por objetivo avaliar o uso do objeto de aprendizagem “Estrutura do DNA”, baseado na visualização e manipulação guiada de representações interativas da estruturas tridimensional da molécula de DNA. Para tanto será necessário realizar os seguintes procedimentos:

1. Resposta ao questionário de pré-teste que consiste em duas questões com o objetivo de avaliar o conhecimento prévio do aluno.
2. Execução da atividade “Estrutura do DNA”.
3. Resposta ao questionário de pós-teste que consiste em três questões com o objetivo de avaliar o papel da atividade na construção de novos conhecimentos e na articulação do conhecimento prévio do aluno.

Após ler e receber explicações sobre a pesquisa, e ter meus direitos de:

1. receber resposta a qualquer pergunta e esclarecimento sobre os procedimentos, riscos, benefícios e outros relacionados à pesquisa;
2. retirar o consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo;
3. não ser identificado e ser mantido o caráter confidencial das informações relacionadas à privacidade.

Declaro estar ciente do exposto e desejar participar da atividade de pesquisa intitulada “Estrutura e estabilidade do DNA”

São Paulo, ____ de ____ de ____.

Assinatura: _____

Eu, Larissa Assis Barony Valadares Fonseca, declaro que forneci todas as informações necessárias à execução da atividade ao participante.

_____ Data: __/__/__.

APÊNDICE D

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – Graduação (Veterinária)

Termo de consentimento

Concordo em participar, como voluntário, da atividade de pesquisa intitulada “Estrutura do DNA” que tem como responsável a aluna de pós-graduação Larissa Assis Barony Valadares Fonseca do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, orientada por Guilherme Andrade Marson. Os responsáveis podem ser contatados pelo e-mail larissabarony@gmail.com e gamarson@iq.usp.br. A presente atividade tem por objetivo avaliar o uso do objeto de aprendizagem “Estrutura do DNA”, baseado na visualização e manipulação guiada de representações interativas da estruturas tridimensional da molécula de DNA. Para tanto será necessário realizar os seguintes procedimentos:

1. Resposta ao questionário de pré-teste que consiste em duas questões com o objetivo de avaliar o conhecimento prévio do aluno.
2. Execução da atividade “Estrutura do DNA”.
3. Resposta ao questionário de pós-teste que consiste em três questões com o objetivo de avaliar o papel da atividade na construção de novos conhecimentos e na articulação do conhecimento prévio do aluno.

Após ler e receber explicações sobre a pesquisa, e ter meus direitos de:

1. receber resposta a qualquer pergunta e esclarecimento sobre os procedimentos, riscos, benefícios e outros relacionados à pesquisa;
2. retirar o consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo;
3. não ser identificado e ser mantido o caráter confidencial das informações relacionadas à privacidade.

Declaro estar ciente do exposto e desejar participar da atividade de pesquisa intitulada “Estrutura e estabilidade do DNA”

São Paulo, 21 de setembro de 2016.

Assinatura: _____

Eu, Larissa Assis Barony Valadares Fonseca, declaro que forneci todas as informações necessárias à execução da atividade ao participante.

_____ Data: __/__/__.

APÊNDICE E

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – Graduação (Enfermagem)

Termo de consentimento

Concordo em participar, como voluntário, da atividade de pesquisa intitulada “Estrutura do DNA” que tem como responsável a aluna de pós-graduação Larissa Assis Barony Valadares Fonseca do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, orientada por Guilherme Andrade Marson. Os responsáveis podem ser contatados pelo e-mail larissabarony@gmail.com e gamarson@iq.usp.br. A presente atividade tem por objetivo avaliar o uso do objeto de aprendizagem “Estrutura do DNA”, baseado na visualização e manipulação guiada de representações interativas da estruturas tridimensional da molécula de DNA. Para tanto será necessário realizar os seguintes procedimentos:

4. Resposta ao questionário de pré-teste que consiste em duas questões com o objetivo de avaliar o conhecimento prévio do aluno.
5. Execução da atividade “Estrutura do DNA”.
6. Resposta ao questionário de pós-teste que consiste em três questões com o objetivo de avaliar o papel da atividade na construção de novos conhecimentos e na articulação do conhecimento prévio do aluno.

Após ler e receber explicações sobre a pesquisa, e ter meus direitos de:

1. receber resposta a qualquer pergunta e esclarecimento sobre os procedimentos, riscos, benefícios e outros relacionados à pesquisa;
2. retirar o consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo;
3. não ser identificado e ser mantido o caráter confidencial das informações relacionadas à privacidade.

Declaro estar ciente do exposto e desejar participar da atividade de pesquisa intitulada “Estrutura e estabilidade do DNA”

São Paulo, ____ de ____ de ____.

Assinatura: _____

Eu, Larissa Assis Barony Valadares Fonseca, declaro que forneci todas as informações necessárias à execução da atividade ao participante.

_____ Data: __/__/__.

APÊNDICE F

Atividade: “Estrutura e estabilidade do DNA” - avaliação de conceitos prévios

1/2

Biologia Molecular do Gene (QBQ5710)

Professora: Nadja Cristhina de Souza Pinto

Aluna responsável pela atividade: Larissa Assis Barony

Nome: _____

Perfil do aluno

1. Curso de graduação: Química [], Farmácia [], Biologia [], Bioquímica [], Outros []
2. Já fez pós-graduação? Mestrado [], Outros []
3. Qual o papel da molécula de DNA em seu projeto de pesquisa?

Central, faz parte da pergunta de pesquisa do projeto. []

Lateral, utilizo técnicas de Biologia molecular. []

Meu projeto não envolve a molécula de DNA diretamente. []

Questão 01 - O texto a seguir contém lacunas. Indique o melhor conteúdo para completá-las dentre os listados abaixo, utilizando o número correspondente ao conteúdo escolhido. Se necessário, use um conteúdo mais de uma vez.

1 [adenina]	11 [empilhamento de bases]	21 [interação]
2 [água]	12 [fenda maior]	22 [ligações de hidrogênio]
3 [antiparalela]	13 [fenda menor]	23 [ligações fosfodiéster]
4 [base nitrogenada]	14 [fosfato]	24 [meio aquoso]
5 [cadeias poliméricas]	15 [fita]	25 [monômeros]
6 [cadeia]	16 [grupos químicos]	26 [oposta]
7 [cargas negativas]	17 [guanina]	27 [radical desoxirribosil]
8 [citosina]	18 [hidrofílico]	28 [sequência]
9 [conformação]	19 [hidrofóbico]	29 [sobreposição]
10 [direcionalidade]	20 [hidroxila]	30 [timina]

O B-DNA é composto por duas [] associadas como uma dupla hélice, formadas por quatro [] distintos, denominados **nucleotídeos (I)**. Em cada nucleotídeo identificam-se os seguintes grupos químicos: [], [], e []. Estes últimos podem ser [] (G), [] (A), [] (T) ou [] (C). A [] de nucleotídeos no DNA codifica a informação genética e determinada a [] de regiões específicas da dupla hélice. Numa cadeia, os nucleotídeos estão unidos por meio de **ligações covalentes, denominadas [] (II)**, em que o grupo [] de um nucleotídeo está ligado ao carbono 5' de seu grupo desoxirribosil e ao carbono 3' do grupo desoxirribosil do nucleotídeo anterior e assim sucessivamente. Essa ligação estabelece uma [] a cada [] em DNAs lineares, que

inicia-se no grupo [] ligado ao carbono 5' do desoxirribosil do primeiro nucleotídeo (III) e termina com um grupo [] ligado ao carbono 3' do desoxirribosil do último nucleotídeo (IV). A associação de duas [] ocorre **por meio de [] (V)**, de forma que a [] faz duas [] com a [] e a [] faz três [] com a []. Em cada fita, bases nitrogenadas adjacentes, estabelecem o chamado [], que são interações eletrostáticas favorecidas por: 1. **comprimento próximo dos dois pares de bases AT e CG (VI)** que favorece a [] dos anéis planares das bases nitrogenadas adjacentes, 2. efeito [] do meio aquoso sob as bases nitrogenadas que promove a [] das bases adjacentes, diminuindo a exposição da base nitrogenada à [], estabelecendo o domínio [] voltado para o interior da dupla hélice. Além disso, o meio aquoso da célula exerce um efeito [] sob o grupo fosfato que determina as [] do esqueleto fosfodiéster, as quais interagem com o [], estabelecendo o domínio [] da dupla hélice. Portanto, o [] influencia no estabelecimento das interações eletrostáticas que estabilizam a dupla hélice, sendo elas as interações de [], as [] e as interações entre as [] do grupo fosfato com o [] da célula. As duas [] estão orientadas de forma [] como consequência da orientação [] de um nucleotídeo em relação ao outro no par de bases. Dessa forma, uma cadeia polimérica está orientada na direção 5'→ 3' e a outra na direção 3'→ 5', de forma que as extremidades superior e inferior da dupla hélice apresentam, respectivamente, um grupo [] ligado ao carbono 5' e um grupo [] ligado ao carbono 3'. A orientação [] das duas cadeias de DNA resulta na formação de **dois padrões estruturais que se repetem ao longo da dupla hélice, a [] (VII) e a [] (VIII)**. Esses padrões estruturais expõem [] (IX) **das bases nitrogenadas** que interagem por meio de [] com outras moléculas presentes na célula, como por exemplo, proteínas. Em geral, proteínas que fazem reconhecimento de sequência específica de nucleotídeos interagem com os [] expostos na [] da dupla hélice, porém algumas proteínas interagem com a [].

Questão 02. O texto da questão 1 apresenta frases em negrito assinaladas por números romanos. Identifique nas ilustrações abaixo os elementos da estrutura molecular do DNA correspondentes a cada frase. Contorne as regiões para melhor salientar suas indicações. O mesmo elemento pode ser salientado em mais de uma figura e não precisa indicar todos os elementos na mesma figura.

A	B	C
---	---	---

Questão 03. Sobre os conceitos químicos apresentados na tabela abaixo, assinale seu grau de familiaridade e dificuldade. Considere as escalas:

Familiaridade:

0: nunca vi

1: vi uma vez ou pouquíssimas vezes

2: estudei, mas lembro pouco

3: leio/uso o conceito de vez em quando

4: leio/uso o conceito com frequência

Dificuldade:

0: desconheço

1: muito difícil, compreendo apenas

2: difícil, aplico com dificuldade

3: moderado, aplico facilmente

4: fácil, aplico e explico para outras pessoas

[illegible]

[illegible]

APÊNDICE G

Atividade: “Estrutura e estabilidade do DNA” - avaliação de conceitos após a realização da atividade

1/2

Biologia Molecular do Gene (QBQ5710)

Professora: Nadja Cristhina de Souza Pinto

Aluna responsável pela atividade: Larissa Assis Barony

Nome: _____

Questão 01. As afirmações a seguir discorrem sobre a estrutura molecular do B-DNA, sua estabilidade e interação com biomoléculas. Você concorda ou discorda das afirmações? Assinale seu grau de concordância com cada afirmação usando as categorias abaixo:

DF: *discordo fortemente* **D:** *discordo* **C:** *concordo* **CF:** *concordo fortemente*

• Afirmações	D F	D	C	C F
A associação das duas cadeias poliméricas ocorre por meio de ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas complementares.				
A ligação fosfodiéster determina a direcionalidade 3'→5' de cada cadeia polimérica.				
A orientação antiparalela das duas cadeias poliméricas resulta na formação da fenda menor e da fenda maior.				
O fato dos pares de bases AT e CG terem comprimentos próximos não interfere nas interações de empilhamento de bases.				
A co-planaridade dos pares de base não é relevante para estabilizar da associação das cadeias de DNA.				
O empilhamento de bases favorece as ligações de hidrogênio entre pares de bases em relação as ligações de hidrogênio entre cada base e a água.				
As interações eletrostáticas que estabilizam a dupla hélice são favorecidas pela conformação do esqueleto fosfodiéster.				
As interações de empilhamento de bases contribuem mais para a estabilidade da dupla hélice do que as ligações de hidrogênio entre pares de bases.				
O meio aquoso da célula não é importante para a estabilidade da dupla hélice.				
O meio aquoso da célula determina a formação dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.				
Em cada fita, as bases nitrogenadas estão sobrepostas, porém desalinhadas.				
Alterações na estrutura da dupla hélice não influenciam no reconhecimento de sequências específicas por proteínas.				
O reconhecimento de sequência específica sempre envolve a fenda maior.				
Interações entre a proteína com as cargas negativas dos grupos fosfato auxiliam na estabilidade do complexo proteína-DNA.				
O empilhamento de bases não depende da sequência de nucleotídeos.				
As interações de empilhamento entre bases adjacentes é mais forte entre dG e dC do que entre dT e dA.				

A conformação de uma região da dupla hélice depende da sequência de nucleotídeos.

Questão 02. Pares de bases diferentes de pares A-T e C-G tendem a alterar a conformação local da dupla hélice B-DNA. A figura abaixo apresenta informações sobre alguns pares de bases, sendo que todos eles apresentam o mesmo comprimento:

Considere os três fragmentos distintos de DNA:

Fragmento A:

5'	C	C	G	A	A	C	T	G	3'
3'	G	G	C	T	T	G	A	C	5'

Fragmento B:

5'	C	C	G	I	A	C	T	G	3'
3'	G	G	C	C	T	G	A	C	5'

Fragmento C:

5'	C	C	G	I	I	T	T	G	3'
3'	G	G	C	C	C	DAP	A	C	5'

Analise a sequência de nucleotídeos dos três fragmentos de DNA (A,B e C). Classifique as afirmações a seguir em verdadeiro ou falso:

- 7 Dentre os três segmentos de DNA, a amostra B apresenta maior deformação da conformação B-DNA. ☐
- 8 Os pares de bases Diaminopurina-Timina e Hipoxantina-Citosina não adotam a conformação B-DNA porque estabelecem um padrão de interações de empilhamento de bases distinto em relação aos pares de bases A-T e C-G. ☐

- 9 Os pares de bases Diaminopurina-Timina e Hipoxantina-Citosina não adotam a conformação B-DNA porque a aromaticidade da Diaminopurina é distinta da Guanina e a aromaticidade da adenina é distinta da Hipoxantina. ☐
- 10 Os três segmentos de DNA adotam conformações da dupla hélice que possuem mesmo diâmetro. ☐
- 11 Os três segmentos de DNA adotam conformações da dupla hélice que possuem o mesmo padrão de fenda maior e menor. ☐

Avaliação dos tutoriais “Estrutura do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

1. Assinale a alternativa que mais se aproxima do seu julgamento quanto as afirmações abaixo:

DF: *discordo fortemente*
fortemente

D: *discordo*

C: *concordo*

CF: *concordo*

Afirmções	D F	D	C	C F
As instruções disponíveis no tutorial são suficientes para sua fácil utilização.				
Utilizo ferramentas de visualização de estrutura molecular tridimensional com frequência.				
As informações sobre os diferentes modos de representação tridimensional de moléculas foi importante para compreender as animações.				
Os diferentes modos de representação tridimensional de moléculas adotados nas animações eram familiares para mim antes da execução dos tutoriais.				
A sequência de conteúdo apresentada em cada tutorial facilitou o meu entendimento.				
A interface gráfica (desenhos, botões, cores etc) do tutorial são de fácil utilização.				
Meus professores usavam softwares interativos com estrutura tridimensional de moléculas em suas aulas.				
A organização do tutorial em perguntas e respostas facilita a compreensão dos conceitos.				
O tutorial aumentou meu interesse pelo conteúdo apresentado.				
Uso vídeos e animações como parte dos meus estudos.				
Usaria novamente o tutorial para estudar os conceitos.				
Nos tutoriais aprendi conceitos que eu não conhecia antes.				
Se eu fosse professor usaria o tutorial com meus alunos.				
Enquanto aluno de graduação gostaria de ter utilizado tutoriais como este.				
Gostaria de conhecer tutoriais de estrutura molecular sobre outros assuntos.				
O tempo da atividade foi adequado para executar os tutoriais e responder às questões.				

Utilize as linhas abaixo e o verso da folha para quaisquer outros comentários que julgar pertinente.

APÊNDICE H

Atividade: “Estrutura e estabilidade do DNA” - avaliação de conceitos prévios

1/2

Biologia Molecular (QBQ0126)

Professora: Bettina Malnic

Aluna responsável pela atividade: Larissa Assis Barony

Nome: _____1. Curso de graduação: Veterinária [], Farmácia [], Biologia [], Química [],
Outros: _____

2. Já cursou a matéria de bioquímica? Sim [], Não []

3. Gosta de biologia molecular? Sim [], Indiferente [], Não []

Questão 01. As afirmações a seguir discorrem sobre as regiões indicadas nas figuras A, B, C, D, E e F. Você concorda ou discorda das afirmações? Assinale seu grau de concordância com cada afirmação usando as seguintes categorias: **DF**: discordo fortemente **D**: discordo **C**: concordo **CF**: concordo fortemente

• Afirmações	DF	D	C	CF
As regiões C e D representam a direcionalidade 3'PO ₄ ->5'OH de cada cadeia polimérica.				
As regiões A e B representam, respectivamente, a fenda menor e a fenda maior da dupla hélice.				
A figura 3 representa uma molécula de DNA que resulta da incorporação de moléculas de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas.				
A região E representa os grupos químicos de um nucleotídeo: desoxirribose, fosfato e base nitrogenada.				
A região F representa os grupos químicos do par de bases nitrogenadas que estão expostos na fenda maior da dupla hélice.				
A região G representa dois nucleotídeos unidos por uma ligação fosfodiéster.				
A região H representa as ligações de hidrogênio que unem covalentemente os pares de bases complementares.

Questão 02. As afirmações a seguir discorrem sobre a estrutura molecular do B-DNA, sua estabilidade e interação com biomoléculas. Você concorda ou discorda das afirmações? Assinale seu grau de concordância com cada afirmação usando as categorias abaixo:
DF: discordo fortemente **D:** discordo **C:** concordo **CF:** concordo fortemente

• Afirmações	D F	D	C	C F
A ligação fosfodiéster determina a direcionalidade 5'PO ₄ ->3'OH de cada cadeia polimérica.				
A orientação antiparalela das duas cadeias poliméricas resulta na formação da fenda menor e da fenda maior.				
O meio aquoso da célula determina a formação dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.				
São componentes da estrutura molecular do DNA as fitas, as bases nitrogenadas e o eixo da hélice.				
O DNA é composto por duas cadeias poliméricas iguais, associadas por ligações de hidrogênio entre os pares de bases.				

O rompimento de ligações fosfodiéster entre os pares de bases causa a separação das cadeias poliméricas de DNA.				
A força das interações de empilhamento de bases entre guanina sobreposta à citosina é superior à força entre adenina sobreposta à timina.				

APÊNDICE I**Atividade: “Estrutura e estabilidade do DNA” - avaliação de conceitos prévios****1/3**

Biologia Molecular (QBQ0126)

Professora: Bettina Malnic

Aluna responsável pela atividade: Larissa Assis Barony

Nome: _____

Questão 01. Identifique nas ilustrações abaixo os seguintes elementos da estrutura molecular do DNA:

A. Fenda maior, **B.** Fenda menor, **C.** Nucleotídeo, **D.** Ligações de hidrogênio, **E.** Ligação fosfodiéster, **F.** Direcionalidade 5' PO₄ → 3' OH, **G.** Grupos químicos das bases nitrogenadas expostos na fenda maior. Para melhor evidenciar suas indicações contorne a região, use setas e coloque a letra próxima a cada região que deseja indicar. O mesmo elemento pode ser salientado em mais de uma figura e não precisa indicar todos os elementos na mesma figura.

Questão 02. As afirmações a seguir discorrem sobre a estrutura molecular do B-DNA, sua estabilidade e interação com biomoléculas. Você concorda ou discorda das afirmações? Assinale seu grau de concordância com cada afirmação usando as categorias abaixo:

DF: discordo fortemente **D:** discordo **C:** concordo **CF:** concordo fortemente

<i>Afirmações</i>	D F	D	C	C F
A ligação fosfodiéster determina a direcionalidade 5'PO ₄ ->3'OH de cada cadeia polimérica.				
A orientação antiparalela das duas cadeias poliméricas resulta na formação da fenda menor e da fenda maior.				
O meio aquoso da célula determina a formação dos domínios hidrofílico e hidrofóbico da dupla hélice.				

Questão 03. São componentes da estrutura molecular do DNA as fitas, as bases nitrogenadas e o eixo da hélice.

() Verdadeiro

() Falso

- a) O eixo da hélice é um componente do DNA e a expressão fita se refere ao esqueleto fosfodiéster.
- b) O eixo da hélice não é um componente do DNA e a expressão fita se refere à cadeia polimérica como um todo, que resulta da união de nucleotídeos por meio de ligações fosfodiéster.
- c) O eixo da hélice não é um componente do DNA e a expressão fita se refere à cadeia polimérica como um todo, que resulta da incorporação de moléculas de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas.
- d) _____

Meu nível de certeza para a resposta escolhida é:

☐ Tenho certeza. ☐ Não tenho certeza. ☐ Escolhi aleatoriamente a resposta.

Questão 04. O DNA é composto por duas cadeias poliméricas iguais, associadas por ligações de hidrogênio entre os pares de bases.

☐ Verdadeiro ☐ Falso

a) As duas cadeias poliméricas são associadas por ligações fosfodiéster entre os pares de bases.

b) As duas cadeias poliméricas iguais estão associadas por duas ligações de hidrogênio entre o par A-T e três ligações de hidrogênio entre o par C-G.

c) As duas cadeias poliméricas são distintas e complementares, estando associadas por duas ligações de hidrogênio entre o par A-T e três ligações de hidrogênio entre o par C-G.

d) _____

Meu nível de certeza para a resposta escolhida é:

☐ Tenho certeza. ☐ Não tenho certeza. ☐ Escolhi aleatoriamente a resposta.

Questão 05. A temperatura necessária para desenovelar uma região de dupla hélice que possui a sequência de nucleotídeos 5' TATAATA 3' é menor do que para desenovelar uma região de dupla hélice que possui a sequência de nucleotídeos 5' GCGCCGC 3'.

☐ Verdadeiro ☐ Falso

a) A mesma temperatura desenovela as duas regiões da dupla hélice, 5' TATAATA 3' e 5' GCGCCGC 3'.

b) O desenovelamento da sequência de nucleotídeos 5' TATAATA 3' requer menor temperatura devido, principalmente, ao menor número de ligações de hidrogênio que associam o par de bases adenina e timina em comparação com o par de bases citosina e guanina.

c) A maior facilidade de abertura da sequência de nucleotídeos 5' TATAATA 3' se deve, principalmente, à menor força das interações de empilhamento de bases que ocorrem entre os anéis aromáticos das bases adenina e timina sobrepostas em comparação com as bases guanina e citosina sobrepostas.

d) _____

Meu nível de certeza para a resposta escolhida é:

☐ Tenho certeza. ☐ Não tenho certeza. ☐ Escolhi aleatoriamente a resposta.

Avaliação dos tutoriais “Estrutura do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

Assinale a alternativa que mais se aproxima do seu julgamento quanto as afirmações abaixo:

DF: *discordo fortemente*
fortemente

D: *discordo* **C:** *concordo* **CF:** *concordo*

• Afirmações	D F	D	C	C F
As instruções disponíveis no tutorial são suficientes para sua fácil utilização.				
Utilizo ferramentas de visualização de estrutura molecular tridimensional com frequência.				
As informações sobre os diferentes modos de representação tridimensional de moléculas foi importante para compreender as animações.				
Os diferentes modos de representação tridimensional de moléculas adotados nas animações eram familiares para mim antes da execução dos tutoriais.				
A sequência de conteúdo apresentada em cada tutorial facilitou o meu entendimento.				
A interface gráfica (desenhos, botões, cores etc) do tutorial são de fácil utilização.				
Meus professores usavam softwares interativos com estrutura tridimensional de moléculas em suas aulas.				
A organização do tutorial em perguntas e respostas facilita a compreensão dos conceitos.				
O tutorial aumentou meu interesse pelo conteúdo apresentado.				
Uso vídeos e animações como parte dos meus estudos.				
Usaria novamente o tutorial para estudar os conceitos.				
Nos tutoriais aprendi conceitos que eu não conhecia antes.				
Se eu fosse professor usaria o tutorial com meus alunos.				
Gostaria de conhecer tutoriais de estrutura molecular sobre outros assuntos.				
O tempo da atividade foi adequado para executar os tutoriais e responder às questões.				

Utilize as linhas abaixo e o verso da folha para quaisquer outros comentários que julgar pertinente.

APÊNDICE J

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, Larissa Assis Barony Valadares Fonseca, estudante de pós-graduação em Bioquímica do Instituto de Química da USP, estou realizando a pesquisa intitulada “Desenvolvimento e aplicação de objetos de aprendizagem interativos sobre a estrutura de biomoléculas: tutoriais “Estrutura DNA” e “Estabilidade DNA””, sob a orientação de Guilherme Andrade Marson, docente do Instituto de Química da USP. Os responsáveis pela pesquisa podem ser contatados pelo email larissabarony@gmail.com e gamarson@iq.usp.br. Como parte integrante da pesquisa serão realizadas entrevistas com o objetivo avaliar o uso do objeto de aprendizagem “Estrutura do DNA”, baseado na visualização e manipulação guiada de representações interativas da estrutura tridimensional do DNA.

Para tanto, gostaria que você participasse desta pesquisa, na qual me comprometo a seguir a Resolução CNS 96/1996, relacionada à Pesquisa com Seres Humanos, respeitando o seu direito de:

- 1- Ter liberdade de participar ou deixar de participar do estudo, sem que isso lhe traga algum prejuízo ou risco,
- 2- Manter o seu nome em sigilo absoluto, sendo que o que disser não lhe resultará em qualquer dano à sua integridade,
- 3 - Interromper a participação na pesquisa caso se sinta incomodado (a) com a mesma,
- 4- Responder as questões levantadas pela pesquisadora caso seja solicitado (a) para uma entrevista, onde será marcado um local na instituição, horário e data em que possa se sentir mais confortável.
- 5 - Garantia de receber uma resposta a alguma dúvida durante ou após a entrevista.

Esclareço-lhe ainda que a entrevista possui tempo estimado de uma hora.

Este Termo de Consentimento, é emitido em duas vias, estando uma via em poder do pesquisador e a outra em poder do participante.

Deixo telefone para contato: (11-994219555), para que possa obter mais esclarecimentos ou informações sobre o estudo e sua participação.

Eu, Larissa Assis Barony Valadares Fonseca, declaro que forneci todas as informações necessárias para a realização da entrevista.

Assinatura: _____

Declaro estar ciente do exposto e desejar participar da entrevista referente à pesquisa intitulada “Desenvolvimento e aplicação de objetos de aprendizagem interativos sobre a estrutura de biomoléculas: tutoriais “Estrutura DNA” e “Estabilidade DNA””.

Assinatura: _____

São Paulo, ____ de ____ de ____.

APÊNDICE K

Roteiro de entrevista semi-estruturada

1. Dados Gerais

Data da entrevista:

Nome do Entrevistador: Larissa Assis Barony Valadares Fonseca

Tipo de entrevista: Semi-estruturada

Hora de início:

Hora do término:

Duração:

Nome do entrevistado:

Curso de graduação: Veterinária

1. Você considera que visualizar as animações da estrutura tridimensional do DNA te ajudou a entender melhor o conteúdo sobre estrutura do DNA?
2. Você possui alguma dificuldade(s) em interpretar representações tridimensionais de moléculas?
3. Comparando antes e depois de usar o tutorial você considera que houve melhoria na sua capacidade de interpretar representações tridimensionais de moléculas?
4. Antes de iniciar as explicações sobre a estrutura do DNA, o tutorial apresenta explicações sobre os diferentes modos de representação tridimensional de moléculas. Você considera importante essas explicações para favorecer a compreensão das animações que serão visualizadas durante o tutorial?

Apresentar três animações: 1. Fitas 2. Superfície 3. Bola e bastão

5. Nessas animações, quais elementos estruturais do DNA você visualiza? Mova o cursor do mouse sobre o que você desejar mostrar e se quiser também pode rotacionar a animação, aumentar e diminuir o zoom.
6. Dessas estruturas e conceitos que você indicou, você acha mais fácil entendê-los manipulando e visualizando animações tridimensionais ou por meio de figuras do DNA presentes no livro didático?
7. Você prefere aprender sobre a estrutura do DNA por meio de uma aula expositiva ou usando um recurso didático interativo como o tutorial? Por que?
8. Usar o tutorial te despertou a vontade de procurar outros recursos para outras disciplinas ao invés de usar apenas o livro e os slides, em geral disponibilizados pelo professor?
9. Você acha que essa figura estrutura do DNA é resultante da incorporação de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas? Por que?

Mostrar animação com transição de modo de representação

10. Você considera importante para a aprendizagem que a transição entre um modo de representação e outro seja gradual e indicada por texto (legenda)?
11. Você considera que a presença do texto (legenda) apresentada próxima ao elemento estrutural é importante para guiar a exploração da molécula tridimensional?
12. Você considera que a presença do texto (Pergunta/resposta) é importante para explicar o conteúdo e servir de suporte para guiar a exploração da molécula tridimensional?
13. Você considera que a sequência do conteúdo apresentado como pergunta e resposta favorece a aprendizagem sobre a estrutura do DNA?
14. Quais os pontos negativos do tutorial que você acha que precisam ser melhorados?
15. Esses pontos negativos interferiram na sua aprendizagem da estrutura do DNA? Como?
16. Tem alguma coisa que eu não perguntei e que você queira falar, alguma coisa que você ache importante como contribuição para a melhoria do tutorial?

APÊNDICE L

Entrevista com estudante 31

Legenda:

(inint) – Trecho sem compreensão.

(palavra 1 / palavra 2) ◌ incerteza da palavra / hipótese alternativa.

((palavra)) ◌ comentários da transcrição.

... Pausa momentânea

(...) Demonstração de corte em trechos não relevantes.

Áudio: Estudante31

Duração: 00:36:41

P: Pesquisadora

E31: Estudante Identificado pelo número 31

(Início)

P: Eu vou gravar também a tela do computador, porque aí na hora que você movimentar alguma coisa na molécula eu sei que você tá movimentando, tá certo?

E31: Uhum.

P: Então eu já vou deixar aí mexendo, mas a gente vai mexer com isso aí daqui a pouco.

P: Espera só um momentinho, tá? Pronto, agora está gravando a tela inteira. Então, seguinte, nossa primeira questão.

P: É... Só para esclarecer porque que eu te chamei você foi melhor depois do que você foi antes de, em relação às questões que eu te perguntei. Além disso, você deu umas sugestões bastante interessantes...

E31: Eu nem lembro o que que eu (inint 00:01:30).

P: E que aí eu acabei usando essas sugestões para poder melhorar um pouco, depois, as animações e o tutorial, tá certo? Então a primeira pergunta que eu quero te fazer é a seguinte: Visualizar as animações da estrutura tridimensional do DNA, você considera que te ajudou na aprendizagem sobre o conteúdo de estrutura?

E31: É, eu não lembro direito como a gente fez lá naquele dia, mas eu **acho que ajudou bastante porque na aula é muito... quando tem imagem é aquela imagem meio... você não entende direito mesmo, quando você consegue mexer é bem mais fácil de entender as ligações também... acho que ajudou sim, ajudou bastante!**

P: Ajudou? Você considera que te ajudou?

E31: Sim.

P: É...Você considera que você possui alguma dificuldade de interpretar representações tridimensionais de moléculas?

E31: Sim.

P: Tem?

E31: É... Eu sou bem ruim na parte de bio. mol. ((Biologia Molecular)) e de bioquímica, essas coisas assim, então... eu tenho, eu tinha muita dificuldade de entender...

P: Seu curso é mais voltado pra área da saúde, então acaba que...

E31: Eu não sei se... se na aula não tem muito, então assim por isso que a gente não... não, acaba não vendo muito essa parte. Mas, eu tinha dificuldade sim, ainda tenho hoje. ((risos))

P: Quando você diz que na aula não tem muito, você quer dizer assim que você não usa muito esse tipo de ferramenta de visualização?

E31: De visualização eu acho que não. No máximo pega imagem de livro, essas coisas, não tem, acho que a gente foi só uma vez pro laboratório de multimídia. E não... é, foi só uma vez.

P: Na disciplina de Biologia Molecular?

E31: Na disciplina de biologia molecular sim... (inint 00:03:18). A professora levou a gente.

P: Deixa eu fechar a porta aqui que eu esqueci, rapidinho. (ruído)

P: A gente vai ter só uma conversa mesmo, tá?

E31: Uhum.

P: É, eu sei que tem muito tempo, então as vezes vocês ((os alunos que usaram o tutorial)) não lembram de muita coisa, não tem problema nenhum. É realmente assim, o intuito da entrevista é só pra eu poder pegar... é... a percepção do aluno sobre exatamente isso que você acabou de me falar, usa ou não usa a representação, entendeu?

E31: É, eu acho que podia usar mais em aula porque a gente tinha um dia específico pra ir pra laboratório e meio que não tinha aula, eu não lembro direito que programa que a professora usava. Tinha também umas imagens, e tinha tipo... era meio interativo, sabe?

P: Uhum.

E31: Aí ele ((o programa)) ia passando, tinha textinhos e a gente ia lendo e ele ia fazendo os procedimentos... Você apertava *play* e aí fazia tipo um vídeo... mas era meio tridimensional também. Só que aí não tinha aula, a gente meio que fazia sozinho e entregava os exercícios e era isso, tipo a professora não dava aula junto, acho que talvez se desse junto com a aula assim ia ser legal.

P: Você fizeram isso no laboratório de multimídia?

E31: Isso. Foi só um dia. Depois que a gente teve a matéria a gente foi lá pra meio que relembrar, eu acho.

P: Ah, entendi. E isso foi na mesma matéria que vocês usaram o tutorial?

E31: Foi, mas foi mais pro final. O seu foi mais no comecinho da matéria.

P: Foi. Ah, entendi, entendi. Tá, então comparando antes e depois de usar o tutorial, você considera que houve alguma melhoria na sua habilidade de interpretar representação tridimensional? De moléculas... Quando você vê uma representação você considera que depois de você usar o tutorial te ajudou?

E31: É, eu acho que sim... eu não lembro direito mesmo, mas... eu lembro que você mostrava bem tipo as ligações assim, de como que era. Eu lembro que na parte da matéria de bioquímica, que a gente teve antes de bio mol ((Biologia Molecular)) eu não entendia nada dessas ligações, tipo... ela só falava e eu ficava, mas como tem uma ligação aí atrás. Aí como deu pra mexer ficou bem mais fácil de entender depois.

P: O fato de você poder mexer na molécula te ajudou a visualizar a ligação?

E31: Sim. Porque ela explicando as vezes você não entende e fica tipo, hum... você sabe que ela fala que é tridimensional, você tenta imaginar, mas é mais complicado. Quando você consegue vê é mais fácil.

P: Mais fácil do que quando você vê a representação bidimensional (inint 00:04:41)

E31: Sim.. aí se ela fala pra você imaginar você tenta imaginar, mas não sai igualzinho como acho que é o certo.

P: Entendi, aham. Tá, é... Antes de iniciar as animações sobre a estrutura do DNA, o tutorial apresentou umas explicações sobre os diferentes modos de representação tridimensional de moléculas. Que é mostrando o DNA no modelo de fita, DNA no modelo de bola e bastão, e ele só como aquelas bolas grandes, e também no modelo de superfície molecular. É, você lembra disso?

E31: Mais ou menos...

P: Mais ou menos.

E31: ((risos))

P: É, mas você considera que um modelo igual é o tutorial deve apresentar pra você antes de se ter, de você realizar o tutorial que tem as animações, esse tipo de explicação sobre os

diferentes modos de representação tridimensional? Isso é importante para que você possa entender as animações que vêm depois?

E31: Acho que sim, porque... você usou no tutorial aquele com as bolinhas não é?

P: Uhum.

E31: Eu acho que é bom saber que têm outros tipos também de representar porque as vezes você vai encontrar outros tipos em outros. Tal professor usa um tipo, cada professor usa um tipo as vezes e pra você entender é bom você saber.

P: Facilita eu acho né?

E31: Uhum.

P: Então agora eu vou fazer o seguinte, eu vou te apresentar três animações que estavam no tutorial e aí você pode usar o mouse e também aumentar ou diminuir o zoom, usar esses botões aqui pra poder manipular da forma como você preferir. O que eu te peço é que você utilize essas animações pra me mostrar elementos estruturais do DNA que você visualiza, que você se recorda e qualquer coisa que você queira me contar e falar a respeito.

E31: Uhum.

P: Tá certo? Então você pode mexer e dar zoom, dessa forma aqui você dar zoom, assim você diminuiu, você pode rotacionar, da forma como você preferir.

E31: Esse aqui tinha no tutorial? Eu não lembro ((risos))

P: É tinha, em uma das animações tinha esse modelo aí. Mas é só você me falar o que que você lembra, qualquer coisa.

E31: Xii... eu não lembro muita coisa gente. Eu nem lembro o que eram... o que ficava fora o que que ficava dentro. ((risos))

P: Como assim?

E31: Que tem essas moléculas que vão ta pro lado de fora não é?(inint 00:08:10)

P: Uhum.

E31: E tem as que ficam mais internas, mas eu nem lembro o que que era...ai ta virando tudo... Da pra puxar pra cima, por favor?

P: Você ta diminuindo o zoom, você diz?

E31: É.

P: Clica aqui.

E31: Pior que não dá pra ir aqui pra cima né e ficar só no meio ou virar... Aí, cada corzinha é uma molécula.. são três... ai, tá indo sozinho, peraf.

P: É que você apertou muito. Não aperta, isso... E espera até ela... agora é só você esperar que...

E31: Ata! Ele vai.

P: Espera um pouquinho pra ele voltar. Ele deu uma travada.

E31: Uhum.

P: E sobre essa daqui tem alguma coisa que você olha pra molécula que você se recorda?

E31: ((risos))

P: Não?

E31: Não.

P: Vamos pra próxima então. Aqui, vai dando uma mexida assim pra vê se tem alguma coisa que você lembra.

E31: Aqui, eu lembro que tinha a pontinha, é não lembro, a extremidade 3 linha e 5 linha eram diferentes assim, só que eu não lembro qual que eram.

P: Você não lembra qual que era?

E31: Eu lembro que eram diferentes, só não lembro qual que era qual.

P: Mais o que? Vai pensando alto a respeito.

E31: Essa daqui dá para ver as ligações não é? Essas aqui são as ligações entre as bases. Esqueci o nome também.

P: Sem problema.

E31: Não lembro o que são, o que vai na parte da cadeia, eu não lembro o que eram diferentes. Essas são as bases?

P: É, você lembra... Você tá perguntando o que especificamente se são as bases?

E31: O vermelhinho e o verdinho. Não né?

P: Não, aqui olha... O que que você lembra sobre as cadeias? Você falou assim, as cadeias...

E31: As cadeias de aminoácidos, de... do DNA fita, cada fita...

P: Cada fita né?

E31: É!

P: Aí você lembra o que que cada fita é formada?

E31: Hum ((risos))

P: Não? Então, volta aqui. Você tinha falado assim que você lembrava que a extremidade 5 linha era diferente da 3 linha né?

E31: Sim.

P: Mas que você não lembra o nome, né?

E31: É, eu não lembro qual que era o nome.

P: Então eu vou tentar te ajudar e a gente vai conversando.

E31: Uhum.

P: Mas vamos fazer o seguinte, primeiro você explora a próxima e depois, pra eu não te induzir, a gente volta. tá?

E31: Uhum.

P: Aqui, quando você vê essa visualização você se recorda de alguma coisa?

E31: Hum...Eu sei que tinha um nome pra esses espaços aqui também, só que nos outros ((outros modos de representação tridimensional de moléculas)) também da pra vê né?

P: Uhum. Legal!

E31: Mas eu também não lembro o nome!

P: Mas você lembra que tinha um nome né?

E31: Tinha, eu lembro que era um e esse maior...

P: Era o outro...

E31: Era o outro.

P: Aham, tá! Bacana! Isso já é muita coisa pra você lembrar.

E31: ((risos)) Só não lembro do nome das coisas. E essa, as moléculas mesmo eu não sei.

P: E por exemplo, você falou que esse espacinho maior, tem o maior e tem o menor né?

E31: Uhum.

P: É, você visualizar a molécula do jeito que você tá vendo tridimensionalmente, pra você entender esse espacinho maior e menor foi melhor do que você vê no livro?

E31: Sim. Eu nem lembro como era esse espaço maior e menor no livro.

P: Não?

E31: Acho que é porque a gente fazia bem tudo igual... na hora de representar a gente não, não sei, a gente, eu não, nós não... essa imagem de livro eu não lembro de ter visto esses espaços.

P: Diferentes né? Um maior e um menor?

E31: Sim.

P: Entendi. Então, essa foi uma coisa que te ajudou quando você viu no tutorial?

E31: Sim.

P: Tá certo. É, então a gente vai fazer o seguinte, eu vou conversar com você agora sobre três outras questões, na hora que a gente terminar essas questões a gente volta pra isso aqui que aí eu vou falando os nomes e vou conversando com você pra vê o que que você lembra, entendeu?

E31: Uhum.

P: Para não te induzir nessa primeira parte. É, você considera que foi mais fácil compreender esses conceitos e essas estruturas, tipo essa que você me falou com espacinhos maior e menor, que você indicou manipulando as visualizações tridimensionais. É mais fácil aprender esses conceitos de estrutura por meio de figuras do DNA presentes no livro didático ou por meio da manipulação?

E31: Acho que por meio da manipulação. Ainda mais que esse tipo de manipulação é fácil né? Tipo é só você mexer e ir dando zoom, não têm nada muito que alguém não consiga fazer.

P: Aham.

E31: Então, eu acho que tipo se tiver a chance de fazer, melhor fazer. Com essas, com essas não sei, com esses programas, do que com um... com o livro. O livro é bom só pra você recordar, mas você vê isso aqui é mais fácil pra você entender.

P: Entendi. É, então essa outra pergunta é mais ou menos nesse mesmo sentido. Você prefere aprender sobre a estrutura do DNA por meio de uma aula expositiva ou usando recursos didáticos interativos como o tutorial? Por que?

E31: É... eu acho que é difícil pro professor também ter, tipo que todos os alunos tenham acesso né? Que nem a sala multimídia é bem pequenininha, então é tipo quatro pessoas numa mesa, mas eu acho que se desse pra fazer é bem melhor. É mais fácil porque têm gente que têm dificuldade mesmo em visualizar. Então é mais fácil pra você entender também, têm coisa que a professora, é que eu não lembro disso, das coisas certinhas, mas eu lembro que tinha coisa era muito difícil de entender a estrutura. Biologia molecular nem tanto, mas na parte de bioquímica quando a professora explicou mesmo a molécula de DNA, ela falou das ligações, das alfa hélices, essas coisas e eu ficava tipo eu não entendia nada eu não sabia o que que ela tava falando direito. Então eu acho que talvez ajudaria se tivesse um programa desse pra visualizar. Mesmo que no livro tem, tenta da uns três, um tridimensional né muito bom ((risos))

P: Porque no final das contas é bidimensional né?

E31: É, porque é um papel, mas tudo bem ((risos))

P: Tá certo. É, usar o tutorial te despertou a vontade de procurar recursos didáticos interativos pra estudar pra outras disciplinas em complementação com o uso de recursos didáticos convencionais como os livros e os slides que os professores disponibilizam?

E31: Uhum. Eu geralmente procuro tipo, não é programas assim, mas geralmente vídeos que o pessoal faz eles tentam mostrar né mais, mais interativo e mais tridimensional, do que qualquer coisa na verdade. E tem professor que tá tentando fazer isso, mas ele leva os vídeos assim que da pra vê bem melhor do que só falando.

P: Eles levam pra aula?

E31: é, mas não programas, só vídeos por enquanto. Não sei se as vezes não tenham programas também né? Aí...

P: Uhum.

P: E por exemplo é... então costuma procurar mais recursos didáticos?

E31: Sim... É eu não cheguei a procurar programas que nem o seu tutorial assim, mas vídeos que mostram mais como funciona direitinho tridimensionalmente, sim.

P: Hum, muito bacana. Tá, então, tá ótimo, agora saindo da parte de visualização então deixa eu te mostrar essa figura aqui, é da uma analisada nela vou te dar um minutinho assim pra você vê o que que é que você se recorda e eu vou te fazendo perguntas sobre ela.

E31: Hum.

P: Você acha que essa figura poderia induzir uma interpretação de que a estrutura do DNA é resultante da incorporação de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas? Eu vou repetir pra você.

E31: Tá ((risos))

P: Se você acha que essa figura do jeito que ela tá aqui, esse esquema, poderia induzir um aluno quando ele interpreta essa figura a formular a ideia, o conceito na cabeça dele de que a estrutura do DNA, é resultante da incorporação de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas?

E31: Acho que se ninguém explicar pra ele que isso aqui é uma ligação, ele não vai saber não, porque tipo isso aqui é uma ligação química não é? Entre as bases... E a fosfodiéster é a cadeia.

P: Você diz a ligação fosfodiéster?

E31: A ligação fosfodiéster é entre as bases, não é? Ou ela é entre as, eu não sei o que tinha na cadeia.

P: Hum...

E31: Era entre as, os peptídeos da cadeia? Fosfodiéster, fosfo... é não é na base né? é na base é pep... não, não lembro mais. ((risos))

P: Tá, tudo bem. sem problemas. Então vamos vê, quando você olha pra essa figura o que que você interpreta dela?

E31: Eu só vejo... que tem as ligações entre as bases, que são dois tipos não é? entre... entre A e o T, entre o RNAt, A e T e C e G são diferentes, só não lembro... que é... aí são dois tipos né de ligações.

P: Uhum.

E31: Acho que é mais isso que dá para vê nessa imagem. Que são as ligações entre as bases e os espacinhos.

P: Tá é... Então a gente volta lá e vamos, vamos partir dessa aqui que está por último. É, você lembra o conceito de esqueleto fosfodiéster?

E31: Mais ou menos, é a cadeia não é? A fita.

P: A fita... pra você fita é a mesma coisa que esqueleto fosfodiéster?

E31: Ah, eu, eu não lembro.

P: Você não lembra né, tá tudo bem... é complicado mesmo responder essa questão que têm muito tempo que vocês fizeram a disciplina. Ahn, então vamos fazer assim. Então eu vou voltar pra essa última representação aqui, tá certo?

E31: Uhum.

P: É, aquele espacinho menor e aquele espacinho maior que você me disse que você visualizou melhor com a estrutura nome deles é fenda. Lembra desse nome?

E31: Sim. É a fenda maior e fenda menor, só?

P: Isso, fenda maior e fenda menor.

E31: tá.

P: Tem mais alguma coisa nessa imagem que você consegue visualizar, além da fenda maior e da fenda menor?

E31: Não que eu lembre assim...

P: Tá, tudo bem. E nessa daqui você me falou que a extremidade 5 linha e 3 linha são diferentes, né? Aí você lembra, por exemplo, onde que o fosfato está e onde que a hidroxila está?

E31: A hidroxila é no 3 linha, não é? E o fosfato na 5 linha.

P: Isso mesmo. Você consegue olhando pra esta representação aí me mostrar agora.

E31: Eu acho que o 3 linha é esse menorzinho não é?

P: Você indica por favor.

E31: 3 linha é esse daqui ((indicando com o mouse o hidroxila))

P: Uhum.

E31: Porque a hidroxila é só OH, ele é menorzinho. Aí o fosfato é maior.

P: Isso mesmo.

P: Então vendo essa, essa interpretação, essa representação, você consegue visualizar que a ponta de uma cadeia é diferente... que cada ponta de uma cadeia é diferente?

E31: Sim.

P: Sim, né? E esse tipo de coisa, você considera que foi melhor visualizando a representação? Do que você vê esquemas no livro?

E31: Sim. Porque a gente colocava só 3 linha e 5 linha, assim nem escrevia que era fosfato e hidroxila.

P: Nem escrevia?

E31: No máximo eu colocava, mais... não dava pra ter a noção de que o fosfato é maior e a hidroxila é menorzinha. Que eram diferentes.

P: Então você precisa visualizar pra você saber que uma coisa é diferente da outra também?

E31: Sim.

P: Tendi. Mais alguma coisa que você consegue lembrar, assim associado à cadeia algo que as vezes a gente tava conversando assim. Você falou comigo sobre a ligação né?

E31: Entre as bases...

P: Isso.

E31: Que eu não lembro o nome.

P: É são as ligações de hidrogênio.

E31: Ah! As pontes de hidrogênio.

P: Isso.

E31: Tá. É então, as ligações fosfo, é fosfodiéster, é?

P: Uhum.

E31: Eh, é aqui não é? Entre as... nas fitas.

P: Você lembra o que que elas unem?

E31: É, então, é... calma... é as riboses do DNA, eu não como é que chama. Porque tinha a ribose, aí tinha o OH e o fosfato, né? Aí ia ligando o fosfato com a hidroxila.

P: Uhum.

E31: Só que eu não como que chama, é... desoxirribose?

P: Isso.

E31: É só isso, tipo, a molécula? Eu não, eu não...

P: Então vamos fazer o seguinte, eu vou dar um zoom aqui, tá certo? Aqui, travou. É, aí agora você vai ver uma animação.

E31: Uhum.

P: Aí qualquer coisa que essa animação te lembrar você pode ir falando.

E31: A ligação é esse negócio, isso aqui?

P: Uhum.

E31: O esqueleto são as duas fitas juntas, isso?

P: Aí você vê o esqueleto, que é diferente de fita.

E31: Uhum.

P: Quando fala fita, é a cadeia inteira e quando fala esqueleto fosfodiéster... não se refere à base nitrogenada.

E31: Ah, tá! Entendi.

P: Entendeu?

E31: Uhum.

P e E31: A base nitrogenada não faz parte do esqueleto

P: fosfodiéster.

E31: Uhum... Entendi. Aí não dá para ver as bases né?

P: Então, olha só vamos dar um zoom aqui. Ver se você consegue, dá uma explorada aqui oh, por exemplo... que que você consegue enxergar aqui? As vezes você lembra de alguma coisa.

E31: Hum... as bases eu acho que... hum... ah, o branquinho não é a ligação, é a base?

P: Isso.

E31: É que eu vi que é diferente. Tipo, a estrutura desse pra esse ((indicando com o mouse um par de bases nitrogenadas)).

P: Uhum.

E31: Entendi.

P: Você lembra quais que eram as bases nitrogenadas do DNA?

E31: É a... eu lembro da sigla ((risos))

P: Tudo bem.

E31: É, tinha C, tinha G, T e A.

P: Isso.

E31: Eu lembro... citosina, é citosina? Guanina! Timina! e o A... não lembro.

P: Adenina.

E31: Adenina! Isso.

P: Aí você lembra o que era um nucleotídeo?

E31: Nucleotídeo é um conjuntinho, não é? Da desoxirribose com uma base? É um nucleotídeo?

P: A desoxirribose, a base e o fosfato.

E31: e o fosfato.

P: Isso. A ligação entre os nucleotídeos, você lembra qual que é? Como que um nucleotídeo ta ligado ao outro?

E31: Não é a fosfodiéster?

P: Isso. Exatamente.

E31: ((risos))

P: Bom, então tá tranquilo, o objetivo não é você, não é a gente... têm muito tempo que vocês fizeram, mas é só assim pra gente conversar...

E31: Sim.

P: E, por exemplo, você viu a animação do esqueleto fosfodiéster. Você considera que vê a animação te auxiliou a entender como que é formada a ligação fosfodiéster?

E31: Sim, acho que sim, mostrou que tira a ligação e coloca... é, eu só não vi, não falou que o branquinho é a base né?

P: Nessa animação não...

E31: Mas dá pra vê também do esqueleto, que ele tirou e colocou também.

P: Tirar e colocar, que você diz é quando pisca né?

E31: É... porque ele some e aparece de novo.

P: E, essa questão de piscar, você acha que ajuda a mostrar o que que é a ligação, o que que é?

E31: Acho que sim porque você coloca a ligação, e aí tipo tira e coloca, a gente sabe do que que ele ta falando.

P: Isso.

E31: Porque se não só mostrar, as vezes a pessoa não sabe onde que ta a ligação.

P: Então, escrever também é importante não é?

E31: Sim, eu acho que sim.

P: Tá. Bom, então na sequência eu vou partir pra segunda parte. É mais ou menos sobre isso que a gente conversou agora. É, você vai vê uma outra animação. Olha só... sobre essa animação, você considera importante pra aprendizagem sobre estrutura tridimensional de moléculas que a transição de um modo de representação para o outro seja gradual e indicada por texto? Que que significa isso? É, antes de eu explicar mais a pergunta, o que que você conseguiu vê nessa animação aí?

E31: Eu vi que primeiro tava usando as bolinhas mais gordinhas, e vi que foi deixando mais fininho pra você conseguir vê a estrutura mesmo, mais com espaço... que antes tava tudo meio junto. Não dava pra vê direitinho as fitas.

P: Sim. Então é, é uma transição de bolinha pra essa que tá...

E31: Pra mais fininhos...

P: Pra bastão, né?

E31: É.

P: E aí essa transição... voltando pra pergunta aqui, já que você entendeu a animação. Você considera que a transição desse bola pra esse bastão, que é gradual, foi gradual e indicado por texto mostrando, mostrando que foi pra bastão. Você considera importante ser transição gradual e indicada por texto?

E31: Acho que sim, porque é aquele negócio né porque vai ter lugares que vai representar daquele jeito, é bom saber que aquilo representa. Assim, porque eu acho que assim o pessoal ta mais acostumado em vê, da pra vê as ligações, da pra vê a fita mesmo... mais

P: Então, é... eu esqueci de colocar o aviso na porta. ((Interrupção momentânea da entrevista devido ao barulho de pessoas falando na sala ao lado))

P: Mais então você, então você diz que assim por esse motivo é importante, porque tem uma transição gradual de coisa que você não tá acostumada, com esse tipo de representação.

E31: É, eu não tinha, aquela primeira, quando tava com as bolinhas mais gordinhas.

(...) [30:37 - 30:55]

((Interrupção da entrevista por pessoas que queriam utilizar a sala))

E31: É aquela forma que tava antes, de representação, é mais comum? Que essa forma, tipo...

P: Você diz essa ou a outra?

E31: A outra.

P: A que tava bola.

E31: É.

P: Qual que é mais comum, qual que você já viu mais?

E31: Eu acho que eu já vi mais aquela, mas aquela que eu não entendia,

P: Aquela com as bolas?

E31: É, porque eu não conseguia vê as... aqui ((modo de representação do DNA como bastão)) eu ainda consigo tentar tipo vê, da pra vê aqui tem, as desoxirriboses, as ligações e as bases. Mas no outro eu não conseguia vê não. Ainda mais que a base tá no meio né?

P: Uhum...

E31: Não da pra vê.

P: Mas depois que você utilizou, você viu, teve mais contato, te ajudou a vê que a base tava no meio?

E31: Uhum... Saber que as duas coisas são a mesma coisa, só que...

P: Ah, tá! Então quando você vê a transição de uma coisa pra outra, mudando assim, aos pouquinhos te ajuda a vê que uma coisa é a mesma coisa que a outra?

E31: Sim... É que nem aquele outro não dá para vê as bases, aí você sabe que a base está lá dentro, só que não... naquela representação não dá para vê.

P: Ah, entendi. Tá bom, então você acha que ajuda né?

E31: Sim.

P: Bacana. Você considera que a presença do texto, é... que é aquilo que a gente tava conversando antes.

E31: Aham, sim.

P: É, apresentada... vou te mostrar outra animação, por exemplo aqui ((animação superfície molecular da dupla hélice)) Quando você vê... essa aqui é uma das animações que estavam no tutorial.

E31: Sim.

P: Você analisando essa animação, você considera que a presença do texto nessa legenda apresentada próximo ao elemento estrutural, é importante pra guiar a exploração da molécula tridimensional?

E31: Acho que sim, porque, é... pra mim é sempre mais fácil ter texto pra explicar porque as vezes só falando também, fala que a maior é a fenda maior, mas as vezes você não consegue vê.

(...) [30:44-30:52]

((Interrupção da entrevista por pessoas que queriam utilizar a sala))

P: Então, desculpa viu, ontem me falaram que não iam usar e tal, tá meio complicado. Você responde de novo, por favor.

E31: Eu acho que ajuda muito porque se não falasse que aqui é a maior as vezes a pessoa não consegue achar a fenda maior, só de a pessoa, só de a professora ou sei lá alguém falando. Acho que a indicação sempre é bom.

P: Por causa do texto tá próximo ao que tá sendo indicado, né?

E31: É. E aqui tá marcadinho, bonitinho. Também só deixar escrito num texto e as vezes a pessoa não sabe onde é, não adianta muito.

P: Entendi, bacana. É, você considera que a sequência do conteúdo apresentado, porque ele foi apresentado como perguntas e respostas. Eu vou dá uma passada só pra te dá um, pra você lembrar um pouco, eu sei que você não lembra é... do conteúdo e tudo mais, mas as vezes você ficou com a percepção e você consegue responder a minha questão.

E31: Uhum.

P: Então, por exemplo, era sempre pergunta e resposta, e aí tinha uma sequência e tal. É, mesmo você não ... pela percepção que ficou pra você, você considera que a sequência do conteúdo apresentado como pergunta e resposta favorece a aprendizagem sobre a estrutura do DNA? Por que você tem sempre uma pergunta e depois ela é respondida, você considera que isso é bom?

E31: Acho que sim. É, acho que sim, também é mais fácil de você lembrar eu acho talvez, quando você está estudando, porque só ter o texto, se você, sei lá você marca a pergunta que estava e você tentando responder também você lembra das imagens. Não sei, acho que ajuda sim.

P: Tá. É, você considera que a associação... Porque no final do tutorial teve essa figura, esquemática né?

E31: Uhum.

P: Você considera que a associação entre essa figura e a animação tridimensional favorece a aprendizagem. Se sim, como?

E31: Aqui em baixo mostrou em 3D, isso?

P: Uhum.

E31: Ah, acho que sim porque a gente tá acostumado a vê essa imagem, então eu acho que relacionando essa que a gente vê bastante com a tridimensional é mais fácil pra pessoa relacionar o que ele aprendeu com a forma do DNA mesmo.

P: O que ele aprendeu, o que ele aprendeu você diz assim que ele viu nas aulas e tal?

E31: Sim. Porque provavelmente ele vai vê essa imagem aqui primeiro, antes de tudo, então...

P: Uhum. É, quais pontos negativos do tutorial que você se lembra, que você acha que precisam ser melhorados, tem alguma coisa que ficou na sua cabeça?

E31: Nossa, eu não lembro agora não. Nem o que eu escrevi depois eu lembro ((risos)) Hum... Eu lembro de alguma coisa, mais eu acho que já tá arrumado, não tá? É, alguma coisa nos comandos que a gente não conseguia mexer. **Acho que o zoom não estava funcionando direito quando a gente mexia.**

P: Ah, tá. Possivelmente porque...

E31: Mais, mas é só isso mesmo.

P: Aconteceu aquele mesmo problema que você viu aqui né. Que as vezes o programa demora um tempo pra responder né? É aí a pessoa vai clicando no zoom...

E31: E vai travando tudo.

P: É.

E31: Mas acho que não tinha, não que eu lembre assim.

P: É, então aí têm uma pergunta. Mas assim, esses pontos negativos, que você falou de ter travado, interferiu na sua aprendizagem usando o programa?

E31: Não, acho que não. Não porque eu posso mesmo... essa parte do travar não vai, só vai demorar um pouquinho, mas nada de mais.

P: Só demora um pouco né?

E31: É, a animação tava funcionando normal, você conseguia mexer, acho que tava, não faz diferença não.

P: Tá. E tem alguma coisa que eu não te perguntei ou que você queria falar, alguma coisa que você acha importante, é que talvez visto antes, que tenha pensado que você gostaria de falar pra melhoria?

E31: Agora eu não consigo pensar em nada.

P: Tá ótimo, não tem problema não. Oh, então eu vou...

E31: Eu acho que já ajuda bastante já. **Isso aqui é tipo site né? Não é programa que você baixa.**

P: É site, fica online.

E31: É bem mais prático também.

P: É, que aí você não precisa baixar nada né, você só chega lá e usa.

E31: Sim.

P: Tá certo, deixa só eu fazer uma coisa aqui, vou finalizar a entrevista.

(...) [37:44-38:20]

E31: E também aquele dia que a gente fez o tutorial tava andando rápido, porque acho que tava, foi depois da aula.

Fim da transcrição.

APÊNDICE M

Entrevista com estudante 35

Legenda:

(inint) – Trecho sem compreensão.

(palavra 1 / palavra 2) ◊ incerteza da palavra / hipótese alternativa.

((palavra)) ◊ comentários da transcrição.

... Pausa momentânea

(...) Demonstração de corte em trechos não relevantes.

Áudio: Estudante35

Duração: 00:41:53

P: Pesquisadora

E35: Estudante identificado pelo número 35

(Início)

P: Então está gravando agora a tela, e está gravando o som também, aí você senta na cadeira por favor, porque eu vou precisar que você faça algumas observações referentes a algumas perguntas que eu vou te fazer, (inint 00:00:30).

E35: Tá.

P: Antes da gente começar a entrevista, eu preciso que você leia, pode ler com calma, esse aqui é um termo de consentimento, igual vocês assinaram quando eu fui testar o tutorial com vocês, uma via fica com você e a outra fica comigo, basicamente é uma declaração que você, o nome de vocês está resguardado na pesquisa, e etc., se você preferir se retirar durante a entrevista você tem direito. Essa aqui fica com você.

P: Muito obrigada.

E35: De nada.

P: Essa via fica com você.

E35: Deixa aqui.

P: A primeira pergunta você não vai precisar olhar no computador, a gente vai começar conversando primeiro, e depois as perguntas que precisarem eu te peço pra poder olhar as animações.

E35: Tá.

P: Então, primeira coisa. Você acha que visualizar as animações da estrutura tridimensional do DNA te ajudou na aprendizagem sobre o conteúdo de estrutura?

E35: Sim. É, na verdade, pra mim eu tenho um pouco... acusam a minha idade, porque eu sou tecnicamente nova, e falam que normalmente mais novo não conseguem visualizar direito uma estrutura tridimensional, eu tinha mais dificuldade antes, mas agora nem tanto, só que no meu curso, eu acho que isso é bastante válido, **quando você consegue ver a coisa tridimensional, você dá uma estrutura para ela, eu acho que isso ajuda, não é uma coisa plana, eu acho que ajuda bastante.**

P: Legal, e você viu alguma pesquisa, alguma coisa sobre isso relacionado à idade?

E35: Eu tenho uma amiga, é da VET também, que ela fazia psicologia e ela veio falar isso pra mim, que eu entrei cedo, eu fiz 18 esse ano, eu estou no segundo ano, e aí ela disse que ela quando entrou em psicologia, ela também tinha 16 anos, e aí ela viu bastante coisa disso no curso de psicologia. Ela fazia na Unesp se eu não me engano, e aí ela viu isso, aí ela apontou a minha, ela falou assim, “que falam isso pra ela, mas que a idade só depois de uma certa idade, acho que talvez 21 anos”. Mas quando a gente é mais velho, a gente consegue firmar melhor a imagem na cabeça.

P: Que interessante.

E35: É, eu não sabia disso também, mas eu praticamente tinha um pouquinho de dificuldade em formar imagem, principalmente, não sei se isso é realmente verdade, mas talvez seja, porque agora eu tenho mais facilidade em formar, só que eu acredito que ver seria uma coisa mais palpável, pra mim já facilita.

P: Muito legal. Mais alguma coisa?

E35: Só. (risos)

P: Você consegue perceber alguma dificuldade pra interpretar representações tridimensionais de moléculas?

E35: É, um pouco, mas, agora é melhor, só que na época me ajudou, e às vezes, quando você começa a ver, eu acho quando você começa a ver coisa assim, na sua cabeça fica mais fácil depois pra você reproduzir assim, então eu acho que agora não mais.

P: Você está com quantos anos?

E35: 18, aí que... eu entrei... eu fiz 18 esse ano, eu fiz 17 ano passado, eu já estava na faculdade com 17, mas eu prestei a Fuvest um dia depois do meu aniversário, então...

P: Eu também, eu prestei o vestibular com 16.

E35: É, então, mas deu tudo certo. (risos)

P: Comparando antes e depois de usar o tutorial você considerara que houve uma melhoria na sua habilidade de interpretar representação tridimensional?

E35: Sim, eu acho que sim, apesar, eu acho que isso fica um pouco gravado na memória depois pra você construir de novo, facilita, então eu acho que sim.

P: Antes de mostrar as animações do tutorial, eu não sei se você lembra, mas tinha uma explicação inicial sobre diferentes modos de representação tridimensional, você lembra?

E35: Eu acho que não.

P: Eram explicações dos diferentes modos de representação do DNA, só como volume atômico, como superfície molecular, bole e bastão.

E35: Ah pera, ah, hum... tá, sim.

P: Você lembra mais ou menos?

E35: Eu acho que sim.

P: Esse tipo de explicação, antes de mostrar o tutorial, você acha que é importante? Por exemplo, no seu caso, você estava iniciando a faculdade, você tava no...

E35: Primeiro ano, o ano passado.

P: Primeiro ano, então talvez com não tanto contato com esse tipo de representação tridimensional.

E35: Eu tinha um ou outro na escola, mas, mais mesmo eu tive aqui bastante mesmo, principalmente por causa de bioquímica, tudo, mas só na faculdade, assim... aí eu acho talvez eu não tenha entendido a pergunta direito.

P: Você acha que é importante que tipo objeto de aprendizagem igual o tutorial explicar antes, no início, os diferentes modos de representação tridimensional? Explicar pra você os modos de bola e bastão, modo de volume atômico, um outro que é de superfície molecular, entendeu? Apresentar uma explicação antes de começar a visualizar as animações?

E35: Eu acho que depois, porque você vê, você vê como realmente é a molécula, e daí assim, ah mas a gente pode representar de outras formas, talvez isso facilite o aprendizado, eu não sei.

P: Mostrar que existem várias formas de apresentar a molécula?

E35: Sim, mas antes mostrar a molécula como é em si, e daí você mostrar ela é assim, só que eu posso representar ela de várias formas, daí você mostra isso, talvez facilite, pelo menos pra mim eu acho que facilitaria, eu ver, mas eu não sei os outros.

P: Entendi, tá. Agora eu vou te mostrar 3 animações, a primeira delas é essa daí, e aí eu te peço que você manipule a estrutura, da forma como você achar melhor, pra você tentar interpretar, e me dizer aquilo que você se recorda sobre a estrutura molecular, qual que é o elemento estrutural, (inint 00:08:06) que eu vou falar pra você. Aí você lembra como que manipula? Mas (inint 00:08:10) 18, pode girar molécula, e aí é pra você salientar o que você achar importante.

E35: Tá, pra eu explicar agora vai ser... tem que explicar, as moléculas que eu estou vendo, o que cada uma representa? Isso pra você. A de fora vem, porque ela era estrutural, e ela era hidrofílica talvez, eu não tenho... eu acho... não tenho certeza, e aí ficava a parte de dentro lipofílica que elas se interagem, e isso daí que forma a estrutura do DNA, e são os nucleotídeos, e...

P: Você consegue visualizar essa animação? O nucleotídeo assim, me mostrar?

E35: Não é, por exemplo, esses daqui, esses mais coloridinhos, o vermelho, não?

P: O nucleotídeo, assim...

E35: Ah, o códon isso daqui? Talvez. Agora eu não lembro também.

P: Ah tá. Nessa primeira parte eu não vou falar muito nome pra você, muita coisa, porque eu quero ver primeiro o que você consegue lembrar, aí depois que a gente vê as 3 animações, eu volto, e aí a gente conversa melhor, comigo dando dicas pra ver até onde você consegue lembrar.

E35: Isso aqui não é o nucleotídeo não, porque agora tentando pensar, é a trinca né? que tem que formar... então, deixa eu tentar lembrar.

P: Fique a vontade, sem pressa.

E35: Mas talvez, o conjunto, esse... cada... o conjunto forma os códons, e códons se ligam, meio que, não se ligam, mas interação entre si, ai meu Deus. Eu não vou lembrar.

P: Assim, de elemento estrutural, quando você vê essa imagem tem alguma coisa que você lembra?

E35: Que eu lembre, ponte dissulfeto, eu me lembro, não sei se isso é válido.

P: Ponte dissulfeto?

E35: Que conecta... não, não sei.

P: Não, ponte de sulfeto tem a proteína.

E35: Ah é verdade, é verdade, posso misturar tudo. Ah eu vou começar a querer lembrar de coisas que ligam a estrutura, ponte, vixi está começando a dar branco em tudo, estou nervosa, ai meu Deus.

P: Isso aqui, quase não (inint 00:10:52) só é realmente pra eu poder ver aquilo que você lembra, entendeu? O ponto pra mim que interessa, não é o que você lembra de conteúdo, é como que uma estrutura igual a essa aqui, tridimensional, consegue fazer você lembrar do conteúdo, entendeu?

E35: Não, o que mais me vem à cabeça, pela estrutura foi a fase lipofílica das que ficam pra dentro, que elas se ligam, e a hidrofílica fora, que ela mantém a estrutura.

P: Você mostra pra mim, por favor?

E35: Essa daqui vai ser a mais externa, e vai manter a estrutura e essas daqui estão conectadas, e elas interagem entre si pra não mexer com o meio, porque o meio, elas não tem afinidade com o meio, é o que mais me vem na mente. Aí eu estou tentando lembrar aqui, mas eu não estou conseguindo lembrar muito bem.

P: Você lembra o nome dessa parte, você falou hidrofílica e a parte que você falou "lipofílica", dentro?

E35: Não sei se eu consigo lembrar agora.

P: Vamos tentar uma outra animação, que aí às vezes, olhando a outra você lembra de mais alguma coisa.

E35: Dar um zoom... Vixi, travou.

P: Espera um pouquinho...

E35: Eu acho que eu apertei demais.

P: É que demora um pouco pra responder, aí quando isso acontece de apertar muito...

E35: Não, mas aqui já dá pra ver que é essa parte externa, e...

P: Deixa eu passar o mouse, que aí você...

E35: Vai tentar recarregar a página?

P: É, vai ter que ser o jeito.

E35: Mas aqui já dá pra ver melhor, as proteínas da parte externa. Oh dá pra ver aí também.

P: O que você vê, quando você vê essa imagem aí?

E35: Essas aqui estão ligadas, é a parte de lipofílica, é que o nome, nome, nome, agora eu não estou conseguindo lembrar, e essas daqui são as hidrofílicas, pode me dar uma dica?

P: Posso. Vou te mostrar uma animação primeiro, e aí a gente já começar entrar no assunto, então quero te mostrar essa aqui.

E35: Ligação fosfodiéster.

P: Tá, (inint 00:13:48) eu vou mostrar.

E35: Ah.

P: Você lembra o que, que a ligação fosfodiéster une?

E35: Ela liga o nucleotídeo, ela liga?

P: Isso.

E35: Os nucleotídeos entre si, e tinha mais alguma coisa, não tinha? Ou era só esse? Não, eu acho que é só isso mesmo.

P: Ela liga os nucleotídeos entre si, isso mesmo. Você lembra o que é isso aqui que está representado aqui? Que tal parte você falou que é hidrofílica? É que a ligação fosfodiéster une os nucleotídeos e aí forma essa parte aqui olha (indicação com o mouse do esqueleto fosfodiéster).

E35: Sim. É uma ponte não é? Isso daí, mas são os fosfodiester ligados entre si.

P: Isso, os nucleotídeos, esse aqui é o esqueleto fosfodiester, e dentro são as bases nitrogenadas, aqui.

E35: Sim.

P: E agora, se eu fizer isso aqui (dar zoom) essa estrutura aqui, te lembra de alguma coisa.

E35: Sim, as bases nitrogenadas... ah, era, eu acho que era o fosfodiester com o nucleotídeo e a base nitrogenada com... a base nitrogenada que forma o códon (inint 00:15:20) e a base nitrogenada, que a base nitrogenada que você põe a trinca de...

P: Trinca de que?

E35: De nucleotídeos?

P: Não, eu acho que você está confundindo, porque trinca...

E35: De códon.

P: O códon é a trinca (inint 00:15:20)

E35: Sim.

P: Aí aqui no caso, no DNA não tem (inint 00:15:48)

E35: Ah, a base nitrogenada, ah tá, agora sim veio na cabeça, A, T, C e o G.

P: Isso.

E35: Se fosse a RNA, U no lugar do A.

P: No lugar do A?

E35: No lugar do T, desculpa. Tá lembrei, lembrei.

P: Você consegue vende essa animação aí me mostrar onde estão a base nitrogenada, os elementos que compõem o nucleotídeo, quais são os radicais?

E35: Os radicais você diz...

P: O nucleotídeo é composto pelo que?

E35: Nucleotídeo, ah tinha as bases nitrogenadas, tá, eu só estou lembrando da base nitrogenada, a trinca, a trinca não, é, porque daí é a cada 3.

P: Não, mas tudo bem, não tem problema.

E35: O que eu lembro, é que enrola na proteína, e que é... agora eu não vou lembrar o nome também. Pra confessar eu não gostava muito de (inint 00:17:07), nem genética, isso também é uma coisa que o programa ajuda, porque às vezes, facilita o ensino, fica mais dinâmico também, e pra mim é uma coisa, é uma coisa um pouco monótona.

P: Você participava, você interagia com o tutorial

E35: Ajuda, eu acredito que ajude.

P: Não tem problema, eu estou realmente só, eu estou tentando ver assim, o termo de fazer, lembrar de nada não, é assim...

E35: Se forçar eu acho que eu lembro, mas talvez demore um pouco.

P: Ah, eu estou falando assim que não tem problema, mas é a medida em que você se sentir confortável em me falar, entendeu? Se você quiser ir tentando manipular a estrutura, tentar lembrar, tenho todo o tempo do mundo, mas assim, eu só estou querendo te forçar a lembrar.

E35: Não, tudo bem, é que agora eu não consigo agir sobre pressão.

P: Não tem problema não, olha só, (inint 00:18:19), como que é estar no seu lugar, em relação a minha expectativa com você? Isso é uma conversa mesmo, e o que você conseguir lembrar é o que é válido para mim entendeu? Porque o meu objetivo todo mesmo é saber, o material te ajudou? Você acha que isso importante? Ter esse tipo de coisa associado com algo? Entendeu? Então se você não lembrar com qualquer coisa, não tem problema, tá bom?

E35: Tá.

P: O mais importante para mim é saber a sua opinião, não é saber o que você lembra de cada coisa, por isso que eu estou falando, você pode olhar outras... E aí, e depois a gente volta, à medida que a gente for conversando, e você for lembrando de alguma coisa a gente pode voltar aí, sem problemas, entendeu? Eu vou te mostrar só mais um aqui, quando você vê esse, você vê alguma coisa de DNA?

E35: O DNA? Ah, eu volto um pouco para a primeira imagem.

P: Essa daqui? ()Ou essa?()

E35: Você pode voltar naquela dali rapidinho? Não, essa daqui(). É, eu normalmente me lembro dessa, porque nessa região aqui que vai estar a base nitrogenada, e aqui vai ser a ligação fosfodiéster, o esqueleto.

P: Exatamente, você lembra o que são esses espaços aqui?

E35: Ah, lembra que tinha nome.

P: Esse espaço aqui?

E35: Acho que esse aqui é o maior, esse aqui é o menor né? Lembra que tinha nome.

P: Você lembra qual que é o nome?

E35: Não, não vou lembrar.

P: Mas você percebe a diferença?

E35: Sim, sim.

P: Quando você viu esses espaços te ajudou a ver eles?

E35: Sim, de tirar do papel e por aí, eu lembro, até porque, foi por isso que eu lembro que tem o espaço.

P: É?

E35: Aham, agora é o nome do espaço, eu lembro que era algum tipo de interação.

P: Ah é?

E35: Talvez, eu não lembro direito.

P: Interação com o espaço?

E35: Sim, agora não lembro se era o espaço, e tipo, uma outra molécula adjacente, talvez fosse isso, mas eu não lembro direito.

P: Isso você lembra ter visto no tutorial?

E35: Sim, na verdade eu lembro da professora ter dito, e aí eu fui ver aqui, vendo a imagem me deu... eu entendi realmente do que se tratava, agora não lembro se foi a professora falando, o que eu li no tutorial, aí eu falei assim: "Ah entendi agora!" mas eu lembro que foi a imagem que ajudou a marcar.

P: De você ter visto o tridimensional?

E35: Sim.

P: Que bacana! Então eu vou te falar o nome, é a fenda maior...

E35: E a fenda menor?

P: E a fenda menor.

E35: É tinha um lado maior e outro menor.

P: (inint 00:21:08), na verdade pouco importa o nome, não que o nome não seja importante, né? Mas o importante é que você viu aqui e você lembrou você tinha visto antes, utilizando a imagem né? É por isso que eu estou te mostrando essas imagens, para ver o que essas imagens conseguem ativar na sua memória, entendeu? Mas por enquanto são só esses três, aí eu quero saber o seguinte, sobre esses conceitos, essas coisas que a gente conversou, estruturas que foram indicadas com você manipulando, você considera que é mais fácil você compreender esse processo e as estruturas indicadas manipulando a visualização, as animações tridimensionais? Ou por meio de figuras DNA presentes no livro didático?

E35: Assim, se a imagem presente no livro didático for tridimensional eu acho que já ajuda, mas a maioria não é, é uma coisa meio plano, então assim, assim eu acho que facilita mais, assim eu acho que é melhor.

P: Quando você vê tridimensional?

E35: Sim, quando eu vejo tridimensional eu acho que dá... que é uma coisa que você imagina até palpável, você consegue por... não sei como dizer, mas não parece tão, um desenhinho bastão, essas coisas, isso daí é uma coisa que eu tinha dificuldade, e que você vê a molécula, quando é representada por bastão, você vê uns pauzinhos ligados e aí você chama aquilo ali... mas pra mim, pelo menos eu tenho dificuldade, pra mim aquilo ali não é uma molécula.

P: Você diz essa aqui? Essa representação aqui é bola e bastão, esse aqui é em bastão, esse aqui é o bastão e esse aqui é a bola.

E35: Sim, eu acho que assim nem tanto, é que quando você põe no papel, por exemplo, só essa parte, só uma região no caso do fosfodiéster, pra mim eu vejo assim, um bastão, uma bola, um bastão, um bastão, aquilo pra mim não parece muito uma molécula, quando junta todos assim, aí você já consegue, só que assim talvez seja melhor mesmo. Eu acho que é.

P: Melhor inclusive pra ver essas fendas né?

E35: Sim, também, isso daqui, se a gente for ver... ai meu Deus, será que vai?

P: Vai, aperta mais uma vez, mais uma...

E35: Com cuidado agora.

P: É, (inint 00:23:43) já?

E35: Facilita, agora aqui travou de novo, tudo bem, mas aqui acabou, eu consigo ver uma aqui, uma maior, uma menor, o que é isso aqui? Eu acredito que colocando aqui assim, seja muito melhor pra visualização.

P: São diferentes formas que se representa a mesma coisa né?

E35: Sim, mas eu particularmente prefiro essa daqui, essa daqui também, se bem que essa daqui, não sei, mas talvez muitas bolinhas, essa daqui pra visualizar uma fenda, eu acho que é melhor, porque aqui é uma coisa mais homogênea, aqui eu não consigo ver direito.

P: Muito bem. O que eu te perguntei antes sobre explicar os diferentes modos de representação, é porque esse aqui é o modo de representação de volume dos átomos, enquanto esse aqui é bola e bastão, e esse aqui é a superfície molecular. Aí no início de tudo no tutorial, tinha uma página que estava explicando esses diferentes nomes, aí foi isso que eu te perguntei, (inint 00:24:53)

E35: Ah, acho que agora eu entendi a pergunta.

P: Porque no início estava explicando como que funciona cada representação, entendeu?

E35: Nesse caso sim, talvez fosse melhor, tipo explicar cada coisa, sim, faz sentido na verdade explicar cada um, falar o que é diferente, diferente representação da mesma coisa. É, eu entendi errado, desculpa.

P: Não, que isso, eu que fiz confusão na hora de perguntar. Você prefere aprender sobre estrutura do DNA por meio de uma aula expositiva ou por meio do uso de um recurso didático interativo como tutorial?

E35: Aula expositiva seria uma aula normal de slide e...

P: Isso.

E35: Particularmente assim, até porque eu como não tenho muita afinidade com esse tipo de matéria, pra mim fica mais fácil aprender assim, do que a gente... pra mim eu prefiro assim, eu prefiro assim, é mais fácil pra aprender na minha opinião. Quando você não tem interesse no negócio, muitas vezes o professor fica ali na frente, você perde o foco por alguma coisa boba que acontece, normal, ou não sei, às vezes, a explicação você acaba não achando muito boa, às vezes, porque você não gosta disso, e sempre, quando é uma coisa por slide muitas vezes é o plano (Molécula representada no plano), então eu acho que assim fica mais fácil pra entender.

P: Quando é tridimensional?

E35: Uhum.

P: Ok. Usar o tutorial te despertou a vontade de procurar recursos didáticos interativos pra estudar pra outras disciplinas, em complementação ao uso de recurso didáticos convencionais como livro, como livros e alguns slides que o professor disponibiliza?

E35: Assim, eu vou ser um pouco hipócrita, vontade eu tive, só que eu não fui, mas eu falei assim caramba, isso aqui é bom pra estudar, mas aí acaba não correndo atrás, e como o livro é mais cômodo, ou o livro, ou... porque você pega ali, é facinho, às vezes, do que correr atrás, mas eu já acabei usando depois disso daqui, mesmo depois desse, alguns outros, joga na internet e às vezes, aparece uma animação e tudo, e você acaba vendo, então, procurar, não procurei, mas acabei usando.

P: Entendi.

E35: Mas vontade eu tive, eu só não fui.

P: Tá, eu vou te mostrar agora uma imagem, e vou te fazer uma pergunta sobre ela. Você dá uma olhadinha aí.

E35: Tá.

P: Você acha que essa figura poderia introduzir uma interpretação de que a estrutura de DNA é resultante da incorporação de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas?

E35: É tipo eu olhar pra essa imagem e já pensar tudo isso?

P: É, (inint 00:27:44)

E35: Assim, as bases nitrogenadas se conectam, e elas estão ligadas por meio do esqueleto fosfodiéster, é foi a primeira coisa que eu já comecei, por ter visto essa, eu já comecei a pensar nisso, ainda mais por causa das cores diferentes também.

P: Por ter visto esta aqui da figura?

E35: Por ter visto essa, eu lembrei as coisas, do computador eu lembrei as coisas, eu via na figura as cores diferentes ligadas ao esqueleto de fosfodiéster, e aí eu já associei que elas são bases diferentes, conectadas e elas estão ligadas pelo esqueleto. Isso eu acabei pensando.

P: Entendi, agora eu vou te explicar melhor o que é a minha pergunta, é no seguinte sentido. Você se lembra como que se forma uma cadeia? Como que forma cada fita?

E35: Tá. Eu acho que sim, talvez calma. Tem desde do RNA, transcrição, essas coisas.

P: Aí é pra proteína.

E35: Tá. To confundindo de novo.

P: Você lembra que a gente estava conversando sobre a ligação do fosfodiéster?

E35: Sim.

P: E você falou que ela une os nucleotídeos?

E35: Sim.

P: Aí a minha pergunta para você é, você se lembra se para formar essa cadeia, essa fita aqui, um nucleotídeo liga ao outro certo?

E35: Sim.

P: E aí vai formando a cadeia, só que eu queria saber de você, assim, quando você vê esta cadeia aqui, quando você vê essa figura, a partir da interpretação dessa figura você vê que...

E35: Ah, elas estão ligadas por nucleotídeos, nucleotídeos não, por... é isso que você quer dizer? Cada uma é um...

P: Aqui cada um é um nucleotídeo.

E35: É isso, eu sei que vendo isso (animação), ah isso aqui cada coisinha aqui é um nucleotídeo que forma uma fita.

P: Exatamente.

E35: Assim não.

P: Com essa interpretação, com essa figura (desenho esquemático da dupla hélice) você não interpreta desse jeito?

E35: Não, eu só lembro da base nitrogenada por causa das cores diferentes, mas por exemplo, igual essa que eu estou vendo que aqui (Animação) é um, que está ligada a outra, isso daí não porque isso aqui é uma fita contínua, então para mim dar a entender na verdade que é uma coisa única.

P: Essa fita né?

E35: Me parece uma coisa contínua, não que ela é ligada por, vamos supor, vários pedacinhos.

P: Entendi.

E35: (inint 00:30:17)

P: Te faria interpretar, por exemplo, que você tem, que o DNA ele é formado assim, você tem uma figura, um esqueleto fosfodiéster e aí para formar a fita, vêm uma base nitrogenada assim?

E35: Nessa figura? Isso sim, por causa das cores diferentes eu pensei nisso, mas do nucleotídeo não.

P: Tá bom, uma outra coisa que eu quero te perguntar agora, eu vou te mostrar assim. Essa aqui. Quando você lê essa animação, o que você interpreta nela primeiro?

E35: Vou só mostrando de uma forma de representação para outra, do... eu acho que era de volumoso pra bastão.

P: Isso mesmo, e o fato de ter sido uma transição gradual de uma coisa para outra você acha que é importante?

E35: Talvez sim, eu teria que ver, por exemplo, se eu tivesse estudando, não sei mas se eu estivesse estudando para matéria, eu teria visto de novo, mas sim eu acho que ajuda. Onde coloca o replay? só para... Mas sim eu acho que ajuda, porque ela já está me dando uma interpretação se for ver do volumoso para o bastão, para não ficar uma coisa meio vaga, você mostrar ele assim, e se você quer passar para esse, tipo, mostra que a mesma coisa, talvez sim, seja útil, na minha opinião.

P: Mostra assim o de volume é a mesma coisa do que a de bastão?

E35: Sim, e às vezes você olha para o de bastão, e aí você olha para o de volume, você não vê uma coisa muito... Você não associa muito, por que tem um... Aqui realmente é volumoso, aqui os negócios, só que, eu acho que ajuda sim.

P: Você acha que ajuda a associar uma coisa com a outra?

E35: Sim.

P: Entendi.

E35: Às vezes, fica uma coisa meio vago.

P: Você olhar pra essa imagem aqui, e saber que é exatamente a mesma coisa.

E35: É a mesma coisa, sim, se você não... às vezes, a pessoa esquece, e aí olha e aí confunde, acontece muito disso comigo, e aí, mas assim eu acho bom lembrar que é a mesma coisa.

P: Tá joia, eu vou te mostrar outra animação aqui, quando você vê essa animação aqui, você considera aqui importante o fato de você ter o texto apresentado próximo ao ambiente estrutural?

E35: Eu acho importante sim, eu acho que você localiza mais no... às vezes, tudo bem, tem um texto explicativo e depois mostra a animação, mas eu acho melhor quando a... não sei se isso aqui é uma animação, mas vai e aparece um e mostra fenda menor, e aí mostra o outro, eu acho que ajuda.

P: Sim, isso é uma animação, eu estou te mostrando só o final dela.

E35: É, o fim.

P: É mas então, aparece exatamente isso, só que essa parte não está muito boa.

E35: Não tem problema, mas sim, eu acho que ajuda, eu acho que ajuda, às vezes, deixa de ser uma coisa meio vaga, quando se coloca o texto, e aí você coloca, eu acho que é... como que é a palavra? **Torna mais rápido o entendimento, às vezes, você lê o texto, aí você vê a imagem, e aí você tenta associar, aí aparece ((o texto próximo ao que se deseja salientar na molécula)), aí você já classifica melhor o que é uma coisa, o que é outra, eu acho útil.**

P: O tutorial ele foi apresentado na forma de pergunta e resposta, eu vou dar uma passada rápida pra você dar uma lembrada do que tinha sido apresentado. Era feito uma pergunta e tinha resposta, aí você via a animação, aí tinha pergunta, resposta e você visualizava animação, e assim foi indo em todas as unidades. O que eu quero te perguntar, é se você considera a presença do texto apresentado com uma pergunta e resposta, é importante para explicar o conteúdo? E pra servir de guia pra você explorar a animação?

E35: Eu acho que sim, eu particularmente gosto, e às vezes, se eu já tivesse estudado a matéria, "Como são estabelecidos os domínios hidrofílicos e hidrofóbicos da dupla hélice?" (Leitura do Título da unidade conceitual) Eu tento responder, se eu por exemplo já tivesse estudando a matéria, eu tentaria responder, e depois eu olharia a resposta pra ver se estava certo. E se eu tivesse estudando... "Como é formado?", eu vou ver como é formado, eu acho legal, esse de pergunta e resposta, sim, e a visualização também eu acho uma coisa importante.

P: Então você considera que essa sequência é bacana, você lê a pergunta, e depois você visualiza?

E35: Sim, sim, eu acho, e ler o texto dentro da animação, e ter as coisas indicando. Eu acho legal, não o texto, um texto pra dar, mas tipo algumas maior, menor, as duas fendas, e a dupla hélice, eu acho...

P: A indicação do que foi escrito aqui no texto...

E35: Sim, não o texto, mas alguns pontos sim, eu acho bacana.

P: Entendi, você procuraria...deixa eu te mostrar uma última coisa. Isso aqui era um resumo do tutorial e tinha essa figura associada com a animação tridimensional, aí você por exemplo, clica na figura e coloca a animação, você considera que essa associação entre a figura esquemática, e você ver o tridimensional é interessante pro seu aprendizado?

E35: Eu acho, que nem o que eu dizia... no colégio ou mesmo na sala sem animação, é isso que a gente vê, pra mim eu só vejo pauzinhos e formando algumas coisas que a gente dá os nomes, e aí vê, é uma coisa mais, não sei se palpável, mas pra mim ajuda a ver, e aí, eu acho legal, eu particularmente eu acho que ajuda.

P: Associação da bidimensional com a tridimensional?

E35: Sim, você coloca uma coisa mais real no papel, você vê, e se você vê e lembrar disso daqui eu acho muito útil.

P: Muito legal, porque geralmente você visualiza mais isso (Figura bidimensional) no livro né né?

E35: Sim, e o livro ensina isso, mas pra mim... eu acho, você coloca, a gente faz aqui a ligação na cadeia aromática, e coloca N indicando nitrogênio, mas aqui tem uma molécula, aqui tem outra molécula, e aí vê assim, eu acho que facilita bastante.

P: Entendi, e assim que é o tridimensional né?

E35: Sim.

P: Entendi, quais os pontos negativos do tutorial que você acha que deveria ser melhorado? Não sei se você lembra de alguma coisa?

E35: Aí vai ser o difícil, eu não vou conseguir te dar o feedback, porque eu não lembro muito bem do tutorial. Mas eu lembro de achar o tutorial bom, eu não lembro de ter nada, assim, só que trava uma coisinha ou outra, mas aí não é o tutorial em si, é o programa, então não é a... a culpa não é do tutorial, mas é, acho que é, é que assim, eu não consigo falar muita coisa, porque eu não lembro, mas, eu lembro de ter gostado, isso eu posso... até porque, quando a gente fez aquele primeiro, eu não lembrava de muita coisa, depois que eu fiz o tutorial eu consegui associar várias coisas.

P: Que primeiro?

E35: A primeira, a gente não fez um teste antes?

P: Ah o teste, que vocês fizeram na sala lá?

E35: Sim, então eu não lembrava muita coisa.

P: Quando você fez o teste lá na sala, você não lembrava de muita coisa, depois que você fez o tutorial você lembrou?

E35: Ajuda a lembrar de tudo, e se... porque assim, é uma matéria que eu particularmente não pretendo seguir, associar... assim, na minha profissão, alguma coisa associada à biologia molecular, uma outra parte da veterinária que eu quero seguir.

P: Seria tipo eu gostar de seguir física.

E35: E você fez?

P: Eu fiz bioquímica.

E35: Mas seguiu física?

P: Não, tô falando assim, seria tipo eu ter seguido física.

E35: Não, não, nem tanto calma, é mais, tipo, é que não é uma área laboratorial da veterinária, é mais reprodução, é o ramo que eu gosto. E eu não vou, acredito, eu espero que eu não tenha que ficar vendo DNA, porque é uma coisa que eu não tenho muita afinidade, eu até gosto tipo quando eu entendo, por isso que também eu acho que eu gostei do tutorial, que às vezes, quando eu não estou entendendo o negócio, eu estou adorando, aí quando tem dificuldade pra entender, eu começo a ficar com raiva, mas é nem lembro que a gente estava falando.

P: Eu só queria que você comentasse os pontos negativos, e você falou que fica travando né?

E35: O que?

P: Na animação.

E35: Sim, mas era só se, que nem aqui agora, clica, clica, clica, é só ter cuidado com o programa.

P: Você que essas coisas interfeririam na sua aprendizagem?

E35: Ah isso não, eu acho que eu estaria dando desculpas se eu dissesse que interferiria, não, a informação tá ali, e se eu esperar um pouco a imagem volta, então eu acho que não.

P: Entendi, tem alguma coisa que eu não te perguntei, que você queira falar, uma sugestão, qualquer coisa.

E35: Ah acho que não, façam mais tutoriais que ajuda, outro sobre outro tema, eu acho que ajuda.

P: Tá bom.

E35: Mas é isso aí então, eu falo bastante então eu já disse bastante coisa.

P: Tá ótimo, vai ficar excelente o seu conteúdo. Eu vou pausar aqui, e vou salvar, porque é muito importante pra mim.

E35: É pós-graduação?

P: É pós, eu faço mestrado.

E35: Ah.

Fim da transcrição.

APÊNDICE N

Entrevista com estudante 25

Legenda:

P: Pesquisador

E25: Estudante 25

(inint) – Trecho sem compreensão.

(palavra 1 / palavra 2) ◌ incerteza da palavra / hipótese alternativa.

((palavra)) ◌ comentários da transcrição.

(...) Demonstração de corte em trechos não relevantes.

Áudio: Gravação (6)

Duração: 00:49:31

(Início)

P: Tá certo.

((falas baixas))

P: Primeiro muito obrigada por ter aceitado participar da entrevista, claro... eu tinha te falado desde o início, a participação de vocês é muito importante para a gente, senão não teria nem como fazer a pesquisa, né? A percepção do aluno, saber se... o que você achou do tutorial é o que faz com que tenham pontos que possam ser melhorados. Muito obrigada.

E25: Imagina.

P: A primeira pergunta que eu vou te fazer é referente às visualizações de moléculas tridimensionais. Visualizar essas relações da estrutura tridimensional do DNA te ajudou na aprendizagem sobre o conteúdo de estrutura do DNA? ((Animações auxiliam na aprendizagem do conteúdo))

E25: Me ajudou.

P: Você considera que...

E25: Eu considero que sim, porque... é muito difícil você imaginar uma molécula, entende? Quando a gente aprende em sala de aula são sempre aquelas duas cadeias só e é uma coisa... parece que é uma coisa reta e não tem uma... um giro, não dá para entender, ah! "duas voltas no DNA ou fenda maior fenda menor", fica mais difícil. Eu acho que quando tem um vídeo aí você consegue entender melhor a angulação e tudo mais.

P: Legal. Você lembra de muita coisa. Você considera que você possuiu alguma dificuldade ao interpretar representações tridimensionais de moléculas? ((Dificuldade de interpretação de representações tridimensionais de moléculas))

E25: Às vezes eu tenho algumas dificuldades, porque não é uma coisa comum em si, entende? Eu tive um pouco de... dessa representação em Bioquímica, mas não é algo recorrente. Então você vê esporadicamente, e aí acaba não tendo essa familiaridade, então às vezes fica um pouco difícil. Mas quando elas vêm coloridas, aí, "essa ponta está de vermelho. Isso aqui, tal coisa", identificava e aí eu acho que fica mais fácil.

P: Quando você usou em bioquímica, você chegou a usar alguma visualização tridimensional ou era só em livro?

E25: Era só em livro, mas aí tinha mais... não era só tipo um desenho, tinha alguma coisa mais tridimensional. Mas em Imunologia eu vi tridimensional, principalmente anticorpo, moléculas assim.

P: (Inint 00:03:12)?

E25: É. Esse semestre.

P: Tá fazendo agora?

E25: É, e aí o professor passa bastante vídeo. Eu gosto da aula dele por causa disso. A aula dele, assim, é slide e depois que ele explica todo um esquema, ele passa vídeo daquilo. Então fica mais consolidado o aprendizado.

P: E ele discute os vídeos com vocês?

E25: Discute, ele faz passo a passo. Ele vai parando. O vídeo, geralmente, ele deixa sem áudio e aí ele vai falando, "ah então, agora a molécula de anticorpo vai reconhecer o antígeno. Aí ligação do antígeno no CDR", que são as alças hipervariáveis. E vai falando passo a passo.

P: (Inint) (00:04:05)/(00:04:12) seguinte, quando você viu as animações você acha que seria uma vantagem que esse mesmo tipo de intervenção que o professor faz com você, na aula de Imunologia, ele fizesse mostrando a animação na tela, na aula expositiva?

E25: Eu acho que seria.

P: Por exemplo, ele vai... a animação vai passando e o professor vai discutindo a animação com vocês à medida que ela vai sendo reproduzida?

E25: Sim, eu gosto disso, quando fazem isso.

P: Porque serve como uma outra forma de usar o tutorial, porque vocês usaram em sala, com vocês mesmo manipulando, mas os professores também podem usar esse recurso em sala de aula.

E25: É, então eu também acho isso uma boa opção.

P: Comparando antes e depois de usar o tutorial, você considera que houve melhoria nas suas habilidades em interpretar representações tridimensionais de moléculas? ((Melhora em habilidades de interpretar representações tridimensionais de Moléculas))

E25: Eu acho que houve, sim. Porque o tutorial era uma coisa passo a passo e eu lembro que... acho que tinha alguma coisa escrita, assim, não tinha? Aí passava devagarzinho, girava, assim, salientava cada parte. Então eu achei que foi bom para mim, tanto que eu nem acreditei quando você me chamou aqui, porque Biologia molecular para mim, Oh Senhor! Era assim, eu odiava, porque eu não entendia nada daquela aula, entendeu? Para mim era tudo muito vago. Eu falei, "eu só vou estudar essa matéria para passar, porque não tem um aprendizado aqui, sinceramente. Essas aulas são muito ruins". E aí foi isso.

P: Você acha que o tutorial te ajudou a aprender alguma coisa?

E25: Eu acho que eu aprendi mais.

P: Mais do que (inint) (00:05:58)?

E25: Sim, porque na aula eu acho que era assim, é só slide e aí depois elas dão exercício. E aí se você tem alguma dúvida, você vai pesquisar em livro. E... mas não sei, não fica uma coisa tão consolidada. Às vezes tem conteúdo, mas você pedir, "mas como funciona realmente?" Não vai saber. Eu acho que você tem um aprendizado melhor quando junta os dois, porque a gente aprende de diversas maneiras, né? E isso que o professor tem que ter em mente também, porque cada aluno aprende de um jeito. Então se der uma aula só expositiva, só assim, passando o slide aqui, vai ter aluno que vai estar perfeito, vai ter aluno que não vai aprender com aquilo. Da mesma forma que se der uma aula só com tutorial, pode ter aluno que tenha dificuldade de pegar.

P: (Interessante).

E25: É. Então eu acho que no ensino bom é quando tem os dois, porque aí todo mundo aprende.

P: Você ter tanto a aula expositiva quanto a parte que você interage com o material?

E25: Isso.

P: Você acha que essa parte de interação com o material (inint) (00:07:11) isso é um facilitador para você aprender?

E25: Eu acho que é, ainda mais porque esse tutorial depois ficava disponível, se você quisesse acessar em casa, não estava?

P: Uhum.

E25: Então, isso é bom, porque você não tem esse acesso só aqui na faculdade. Aí se você quiser estudar depois, lembrar alguma coisa, você pega e pode estudar.

P: Você chegou a usar ele ((o tutorial)) depois?

E25: Eu estudei depois, eu fiz prova, né?

P: Mas você chegou a usar o tutorial para estudar?

E25: É.

P: Que legal.

E25: Peguei. Aí fiz... porque eu estudei assim, eu falei... essa matéria, pelo amor de Deus, tinha que estudar e passar. Mas é uma matéria, assim, que muita gente não gostava.

P: Você gostava?

E25: Eu não.

P: Não?

E25: Eu até peguei aversão do IQ. Eu falava, "ai, Senhor, eu tenho que ir para aquele IQ". Mas depois, sei lá, no final eu fui até me encontrando na disciplina, mas no início foi difícil.

P: Antes de iniciar as explicações sobre a estrutura do DNA, o tutorial apresentava explicações sobre os diferentes modos de representação tridimensional de moléculas, que era aquele modo bola e bastão, superfície molecular, volume atômico. Você considera que essas explicações são importantes para favorecer a compreensão das animações que vão ser visualizadas depois? ((Explicação dos diferentes tipos de modos de representação tridimensional de molecular))

E25: Eu acho que sim, porque como é que você vai entender algo que vêm depois e está relacionado com isso se você não tem um conhecimento prévio do que está sendo mostrado?

P: Dos diferentes tipos de representações?

E25: É, dos diferentes tipos de representações. Eu, pelo menos, não sabia que existe tanta diferença. Então para mim foi importante. Agora, se a pessoa já tem essa informação, talvez não seja necessário, mas para quem não tem eu acho que é.

P: Você visualizar antes como são os diferentes tipos para depois poder ver animação, né.

E25: Isso.

P: Eu vou te apresentar uma animação agora e ela estava no tutorial. Eu vou te pedir para que você use o mouse para poder manipular, dar zoom, ou só falar, da forma como você preferir, para você poder me dizer o que você está conseguindo enxergar, o que você se recorda do que você aprendeu, o que essa animação diz para você.

E25: Sim. Aqui...

P: Se você puder indicar, eu acho que é melhor, porque eu gravo a tela exatamente pra depois quando for analisar as entrevistas eu saber ao que você está se referindo, entendeu?

E25: Entendi. Então aqui é uma das cadeias, né? Indo para cá. E aqui a outra. E depois, aqui são as ligações de hidrogênio, eu acho, entre as bases nitrogenadas. E aí é isso, acho que fenda maior, fenda menor.

P: Onde que está a fenda maior?

E25: Eu acho que essa ((Indicando com o mouse a fenda maior)).

P: E a menor?

E25: A menor é aqui ((Indicando com o mouse a fenda menor)).

P: (Inint) (00:10:30). Tem mais alguma coisa que você visualiza com essa imagem? Com essa animação?

E25: Deixa eu ver... acho que é mais isso mesmo que eu vejo no DNA.

P: As bases nitrogenadas da mesma cadeia, você lembra os tipos de interações que ocorrem entre elas?

E25: De empilhamento?

P: Isso.

E25: De bases. Sim.

P: Com relação a essas interações, você falou sobre ligação de hidrogênio e falou sobre interação de empilhamento de bases...

E25: É.

P: Você se recorda qual das duas... vou refazer a pergunta... você se recorda o que estabiliza o DNA?

E25: O que estabiliza o DNA? ((Estabilidade do DNA))

P: A estrutura do DNA, o que é responsável por estabilizar essa estrutura?

E25: Olha, eu acho que a estabilização do DNA está relacionada com as ligações de hidrogênio e com as ligações fosfodiéster. E aí tinha aquele negócio de que para cá é hidrofóbico e para cá...

P: Você mostra com o mouse por favor.

E25: Sim, para o lado de dentro da molécula, então, é hidrofóbico ((Indicando com o mouse sobre as bases nitrogenadas)). Para cá, lado de fora, hidrofílico, tem o grupo fosfato ((Indicando com o mouse o esqueleto fosfodiéster)).

P: Uhum.

E25: Eu acho que então são todas essas interações, fosfodiéster e ligações de hidrogênio e empilhamento de bases.

P: As interações de empilhamento de bases também estão relacionadas com a estabilidade do DNA?

E25: Sim. Acho que estão, e... porque era proporcional aqui, quando tinha adenina, timina, e guanina e citosina, as bases. Eu não lembro... o posicionamento delas dava uma direcionalidade também aqui na cadeia. Sei lá, tem muita coisa de DNA.

P: Entre as interações empilhamento de bases e as ligações de hidrogênio, você se recorda qual das duas contribui mais para a estabilidade da dupla hélice?

E25: Eu acho que ligações de hidrogênio.

P: É?

E25: Não sei. Não lembro.

P: Você não lembra por quê... Se eu te perguntasse por que você acha que é a ligação de hidrogênio?

E25: Hum... não, eu acho que talvez seja o empilhamento de bases. É que eu não lembro direito porque esse empilhamento de bases era importante. Mas eu sei que ele tinha alguma relação de deixar a molécula assim, que ia tá, que ia diferir alguma coisa lá, que tinha que ter empilhamento de bases, não lembro o que era.

P: Está joia. A gente vai passar mais para frente na entrevista e depois a gente volta para essa questão.

E25: Está bom.

P: Visualizando essa animação tem alguma coisa que você recorda que foi importante para você, ao visualizar a animação, você compreender?

E25: Então, aqui tem as ligações de hidro... aqui eu acho que é ligação de hidrogênio.

P: Se você quiser dar zoom para você visualizar melhor?

E25: Onde que dá zoom?

P: Você pode...

E25: No (mais) aqui? Nossa... é, são ligações de hidrogênio (inint) (00:14:42). E... entre os pares de base.

P: Aí você está visualizando a ligação de hidrogênio? ((Animação do esqueleto fosfodiéster - não representa as ligações de hidrogênio))

E25: Aqui?

P: É, (nessa animação).

E25: Eu acho que...

P: Dá mais um zoom.

E25: Parece que eu estou visualizando. Parece-me.

P: Dá mais uma olhada na molécula.

E25: (Inint) (00:15:34).

P: Porque nessa animação...

E25: (Inint) (00:15:41) rapidinho. Dar mais um zoom.

P: O que é isso aqui e isso aqui e isso aqui pra você? ((Indicando com o mouse as bases nitrogenadas))

E25: Você pode girar de novo a molécula? Eu acho... como faz para parar agora?

P: Clica aqui.

E25: Eu acho que é.

P: A ligação de hidrogênio?

E25: É, porque... não sei, se aqui forem as... aqui for uma base, mas eu não sei o que é isso aqui, entendeu? Tipo... se isso for uma base, então... e aqui for outra base complementar a ela, pode ser que seja. Mas pode ser que... não sei, seja uma outra interação.

P: Você lembra qual era a composição de um nucleotídeo?

E25: Era uma desoxirribose, uma base nitrogenada e um fosfato.

P: Então nessa animação, você consegue salientar para mim onde que você está vendo o nucleotídeo? Se não conseguir, não tem problema.

E25: Eu acho que o nucleotídeo é esse aqui, né? Isso aqui. Não sei. Porque parece que tem uma desoxirribose ((Indicando com o mouse a desoxirribose)).

P: Tem uma desoxirribose, isso aí que você está mostrando assim ((Indicando com o mouse a desoxirribose)), essa é a desoxirribose.

E25: Aí, aqui eu acho que é grupo fosfato ((Indicando com o mouse o fosfato))...

P: Uhum. E a base?

E25: Acho que é essa, então. ((Indicando com o mouse uma base nitrogenada))

P: É.

E25: A base.

P: Porque nessa animação não está representada as ligações de hidrogênio.

E25: Sim, a base, é verdade.

P: Quer ver, deixa eu dar um zoom.

E25: A base... então, essa aqui está interagindo com essa outra base, ah, estou ligada.

P: Isso.

E25: É, se pensar assim faz sentido, olhando a desoxirribose, realmente, interação entre bases.

P: Você lembra, olhando agora de perto, onde seria as interações de empilhamento de base?

E25: Interações de empilhamento?

P: É.

E25: Então seria isso aqui. ((Indicando com o mouse a região entre as bases nitrogenadas sobrepostas em uma mesma cadeia))

P: Exatamente.

E25: Interação de empilhamento.

P: Nessa... vou diminuir o zoom aqui. Tem mais alguma coisa aqui que você consegue... falar sobre essa animação?

E25: A uma molécula tridimensional? ((risos)) Não sei.

P: Isso aqui você consegue reconhecer o que é? ((Indicando com o mouse o fosfato))

E25: Isso? É o grupo fo... não, espera, porque está do mesmo lado, né? Cinco linha e três linha.

P: Uhum.

E25: Eu chutaria o grupo fosfato.

P: Isso mesmo. Aqui é o fosfato e aqui? ((Indicando com o mouse a hidroxila))

E25: A (hidroxila).

P: E essa animação? ((Animação superfície molecular da dupla hélice do DNA))

E25: (Inint) (00:19:51) essa é a mais difícil. Deixa eu ver. Olha... neste (DNA), isso daqui antes... eram os grupos fosfatos do outro...((Indicando com o mouse o esqueleto fosfodiéster))

P: Uhum.

E25: Também são neste, estão para fora. Aí eu acho que esse aqui ((animação)) está mostrando mais isso mesmo, da... que essa parte da molécula é hidrofílica, fica para fora, e a outra parte é (hidrofóbica), está voltada para o lado de dentro. ((Indicando com o mouse a região das bases nitrogenadas))

P: (Inint) (00:21:05)?

E25: É.

P: Você falou no início sobre fenda maior e fenda menor, você consegue indicar a fenda maior e fenda menor?

E25: É a... fenda maior. ((Indicando com o mouse a fenda maior))

P: Uhum.

E25: Aí a fenda menor tem mais... eu acho que é essa. ((Indicando com o mouse a fenda menor))

P: Você acha que essa animação está melhor para você visualizar a fenda maior e a fenda menor do que a primeira que a gente viu? Ou alguma das outras duas?

E25: Dá para voltar na primeira?

P: É só clicar aqui. A gente viu essa, depois essa daqui e agora essa de cá. Eu queria saber qual delas, na sua opinião, você considera a mais apropriada para você visualizar a fenda maior e a fenda menor.

E25: Acho que essa ((Animação superfície molecular da dupla hélice do DNA)) e depois essa. ((Animação volume atômico da dupla hélice do DNA))

P: Então agora eu vou te fazer uma outra pergunta. Tem mais alguma coisa que você queira falar nessas animações aí?

E25: Não.

P: Você considera mais fácil compreender esses conceitos e estruturas, que você indicou manipulando e visualizando as animações tridimensionais, por meio das animações ou por meio de figuras do DNA presentes no livro didático?

E25: Eu acho que por meio de animações. Mas o que eu acho mais legal ainda é quando tem uma legenda indicando. Por exemplo, lá, grupos fosfato, é que aqui... como é minha matéria do ano passado, você lembra algumas coisas, mas depois você não volta nisso, né? É aquele conhecimento que ficou lá. E aí quando você vai relembrar, se você tem uma seta ou, sei lá, uma legenda com cada coisinha aqui do lado da tela, falando o que é, aí fica mais fácil.

P: Uhum. Essas três animações aqui, que eu te mostrei, eu fiz só para a entrevista, elas não são as animações que estavam dessa forma no tutorial. Porque eu queria saber exatamente isso, quando você vê uma animação que não tem indicação de nada, o que a sua memória conseguiria lembrar, entendeu? Porque na verdade é uma das próximas perguntas que eu vou te fazer, no tutorial as animações faziam exatamente isso, indicavam.

E25: É.

P: Você lembra disso?

E25: Era.

P: Eu fiz desse jeito exatamente para quando você olhar uma representação tridimensional que não está indicando absolutamente nada, o que essa animação consegue acionar na sua memória? Entendeu? Para ver se você lembraria.

E25: Então, mas aí eu acho que... por exemplo, o período que... quando que a gente fez essa atividade?

P: Eu acho que em setembro.

E25: Então, passou-se muito tempo já. O que vai lembrar... claro, vai ter aluno que vai lembrar tudo, eu tenho um amigo que é apaixonado por Biologia Molecular, então assim, eles vão lembrar. Mas agora, é muito mais fácil se vocês tivessem feito, sei lá, até novembro, no período em que a disciplina estivesse sendo ministrada, porque ainda assim você tem um contato com aquilo. Depois que acaba a disciplina, não volta mais.

P: Mas você viu o tanto de coisa que você lembrou?

E25: É, então.

P: Assim, em termos... (inint) (00:24:59)/(00:25:06) o que foi significativo para você. Você, vendo essas três animações, mesmo que tenha passado muito tempo, você conseguiu lembrar de muita coisa. Na medida que a gente foi conversando, você conseguiu ver, por exemplo, que aquilo não era ligação de hidrogênio e sim de base.

E25: Uhum.

P: Claro que eu fui te direcionando, mas não fui eu que te falei, foi você que concluiu e descobriu que era a base. Eu estou dizendo assim, se você for analisar, você lembra de muita coisa, embora tenha passado muito tempo.

E25: Ainda bem.

P: Não é? Essa (inint) (00:25:43)/(00:25:47) que você lembra, entendeu?

E25: Uhum.

P: Então se eu te mostrasse com as indicações, seria um modo muito mais fácil, mas eu não ia conseguir saber o que você conseguiria lembrar só de olhar a representação, entendeu?

E25: Uhum.

P: (Inint) (00:26:03) de fato... com a intenção de você rever esses conhecimentos, não seria nenhum pouco apropriado mostrar a imagem dessa forma para a pessoa.

E25: É.

P: Porque tem muito tempo que viu, o objetivo seria (inint) (00:26:18) indicando essas partes e tudo mais, muito mais fácil. Mas aí eu não conseguiria avaliar o que ficou para você.

E25: É, eu acho que as imagens, assim, poderiam ser... vocês usarem em uma avaliação durante o ensino. Então, por exemplo, você faz uma prova teórica. Aí você vai perguntar como é... do que é composta a molécula de DNA, beleza. Aí chega na... depois faz uma prova prática e aí você tem essas imagens e você indica, porque eu acho que ficaria mais consolidado, até porque ele ((o aluno)) ia fazer... saberia descrever, e quando ele visse a molécula, ele ia saber indicar cada região também. ((Sugestão de avaliação semelhante ao formato do pós-teste aplicado para a graduação))

P: Você diz, por exemplo, para que o aluno quando vir essa molécula, para ele mesmo indicar que aqui é o fosfato, aqui é a desoxirribose, aqui é a base...

E25: É. Isso.

P: Entendi. Então eu vou aproveitar para te perguntar uma coisa que não está no escopo na entrevista, mas que vai nesse sentido. Se existisse... por exemplo, tem essa molécula aqui, e aí abaixo você tem um texto. Você lembra que vocês fizeram... estavam completando lá quando tinha um texto durante a atividade?

E25: Sim.

P: Então, se aquele texto que vocês tinham que completar, assim, tinha o... por exemplo, o nucleotídeo, aí você colocava "número 1 que era referente ao nucleotídeo".

E25: Aham.

P: Se existisse esse texto aqui embaixo e você tivesse que... de acordo com o que você está vendo aqui, você completa... da mesma maneira que vocês fizeram...

E25: É.

P: Mas essa seria uma forma de avaliação, certo?

E25: Sim.

P: Isso que você falou?

E25: É, isso também. Ou se tivesse alguma maneira de... é que eu não entendo como pode desenvolver, mas sei lá, que quando a professora perguntasse, "mostre as ligações, é os componentes". E aí o aluno pudesse, por exemplo, pegar o mouse, circular aqui, e aí ele marcava, "não sei o quê", "desoxirribose". Aí aqui ele circularia aqui ealaria, "grupo fosfato", "base nitrogenada". Entendeu? ((Sugestão de avaliação semelhante ao formato do pós-teste aplicado para a graduação))

P: Uhum.

E25: Tipo, porque eu acho que ficaria... até porque você vai ver molécula por molécula, você vai ver, "nossa, isso aqui realmente é um grupo fosfato", entendeu?

P: (Para organizar) para fundamentar mais...

E25: É, eu acho que ele vai estar interagindo mais com a molécula, mas eu não sei se seria possível fazer (isso aqui).

P: Estou trabalhando nisso, (pegando uma parte) para poder ser... ao final, depois que o aluno faz o tutorial, ele faz essa parte, que é mais interativa, então ele reconhece os grupos, reconhece tudo que a gente conversou aqui agora, só que para avaliar o que ele conseguiu aprender.

E25: Isso é legal também.

P: Está joia. Você prefere ter uma noção da estrutura de DNA por meio de uma aula expositiva ou usando recurso didático interativo como o tutorial?

E25: Eu acho que é melhor quando são unidos os dois né. Porque que nem na aula é legal, eu acho que nenhum dos dois separados não se conversam, se falar para aprender só pelo tutorial, não dá. E aprender só pela aula, eu acho que também fica vago. Eu teria que ter os dois. Para mim, para realmente aprender. Porque eu nunca tinha pensado muito bem... que nem assim, você olha... por que eu achei que isso aqui fosse ligação de hidrogênio? ((Indicando com o mouse a região das bases nitrogenadas na animação do esqueleto fosfodiéster)) Porque quando você aprende na escola, na faculdade, como é que você desenha uma molécula de DNA? Exatamente assim, né? (00:29:17)

P: Assim?

E25: É, assim. E não faz todo o sentido pensar que isso aqui ((Indicando com o mouse a região das bases nitrogenadas na animação do esqueleto fosfodiéster))... tipo, às vezes está pensando, "ligação de hidrogênio", porque olha, não parece?

P: Uhum, sim, com certeza.

E25: Entendeu? Então é isso que... tipo, queria... por isso que confunde. E aí quando você vai pensando que, realmente, nossa, não, aí você vê, gira aqui.

P: Você vê a estrutura da base?

E25: É.

P: O que te ajudou a ver que isso aqui era base e não ligação de hidrogênio? Foi quando você deu zoom e viu a estrutura?

E25: É, o que me ajudou foi quando foi dado zoom e quando girou aqui para ver... eu acho que você consegue ver melhor essa interação de empilhamento das bases. Entendeu?

P: Entendi. Mas assim, essa é uma das perguntas, um dos questionamentos que eu tenho na pesquisa, porque todo mundo olha isso aqui ((Bases nitrogenadas na animação do esqueleto fosfodiéster)) e acha que é ligação de hidrogênio.

E25: É.

P: Você não foi a primeira.

E25: Então...

P: Esse é um dos motivos pelos quais a gente tenta usar a representação, porque à medida que o aluno vai manipulando, que ele vai interagindo, ele mesmo descobre que o que ele achava que era uma ligação era, na verdade, uma base. Que é uma questão de representação tridimensional.

E25: Sim, é porque você olhando ele ((Representação do DNA na animação do esqueleto fosfodiéster)) parado aqui e aí a primeira imagem que te vem à cabeça é aquela que está lá no livro...

P: Que é essa aqui. ((Figura representação esquemática da dupla hélice))

E25: Que é essa. E aí você, "nossa..." e isso a vida inteira você aprendeu assim, desde a escola, sobre a molécula de DNA, entendeu? Então aquilo já está... e aí depois até você mudar e pensar, "nossa, não, não é bem assim".

P: Uhum. Essa representação esquemática ela realmente confunde o aluno. Ela não dá toda a informação que deveria dar.

E25: É.

P: Na verdade é uma informação confusa. Usar o tutorial te despertou a vontade de procurar recursos didáticos interativos para estudar para outras disciplinas, em complementação ao uso de recursos didáticos que os professores fornecem, como os slides?

E25: Eu sempre procuro estudar por várias fontes, assim, que nem Imunologia, que eu falei que tem bastante... cascatas de reação... de sinalização intracelular ou ligação entre moléculas. Eu acho melhor para visualizar. E algumas matérias eu procuro, assim, estudar por vídeos mais... coisas mais interativas. Só que não tem... eu... é que eu não tenho tanto conhecimento de muitos, porque os professores, geralmente eles não passam assim, "olha, se você quiser estudar por algum aplicativo interativo..." não sei, não passam, falam assim, "a minha aula é essa. Os livros para vocês estudarem para a aula são esses". Essa é a recomendação. Então você acaba, geralmente, mais pegando livro ou o máximo que você pode fazer é entrar no Youtube para assistir vídeos de animações.

P: Procurar por conta própria.

E25: É. Tem uma disciplina que é muito boa, que não tem a ver com vocês, mas é Embriologia, por exemplo. O que eu gostava da minha professora é que ela é muito didática. Porque assim, Embriologia tem muito negócio de dobramento, né? "Então o embrião vai dobrar acéfalo-caudal..." e aí depois... e vai surgindo uma série de coisas que você não imagina como vai fazer, e vira para cá, vira para lá. E aí na aula dela era legal porque ela mostrava as imagens do livro, só que ainda assim fica meio estranho só com o livro...

P: (Fica difícil de entender).

E25: É, e aí depois ela mostrava vídeos de animações desses dobramentos. E ela também usava bexiga na aula dela, aquelas bexigas grandonas, sabe? Essas finas e retas.

P: Sei.

E25: Para fazer os dobramentos, como seria.

P: Que legal.

E25: Entendeu? Então, assim, ela trabalhava dessas três formas. E eu acho que isso ajudava bastante todo mundo a... por mais que Embriologia fosse uma matéria densa, difícil, a gostar dessa matéria, porque entendiam e conseguiam visualizar. Porque (às vezes não entende) (inint) (00:35:02), "não beleza, eu estou entendendo, mas eu não visualizo isso".

P: Tem que ter um recurso externo para te ajudar a compreender totalmente (inint) (00:35:11).

E25: É. Entendeu? E aí ela fazia isso e eu acho legal, que nem eu falei, o professor de Imuno também usa esses vídeos. Eu tinha um professor de Histologia também que usava recursos interativos. E era assim, eu gostava mais.

P: Bacana. (Inint) (00:35:31)/(00:35:37). Você acha que essa figura poderia induzir um aluno a interpretá-la como... interpretar a estrutura do DNA como sendo representante da incorporação de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de ligações químicas?

E25: Interpretar... como que é?

P: Interpretar a estrutura do DNA como sendo resultante da incorporação de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas?

E25: Eu acho que é possível, mas só se o... ele não tivesse a informação prévia que não... você falou assim, inteira... por exemplo, vai adicionar essa base aqui e aí depois vai adicionar essa, assim?

P: Você lembra como que ocorreu a formação da cadeia de nucleotídeos?

E25: Sim, é a ligação do grupo fosfato, presente no carbono (cinco), de uma (desoxirribose) com uma... vai fazer ligação (a uma) hidroxila (pelo) carbono (três).

P: O quê com o quê? A ligação?

E25: Unindo os nucleotídeos.

P: Isso. Então a formulação da cadeia pelos nucleotídeos, né?

E25: Isso.

P: Por meio das ligações fosfodiéster.

E25: Isso.

P: Só que a minha pergunta para você é o seguinte, da mesma forma que quando você olhou para essa relação e a gente discutiu sobre essa figura, você estava achando inicialmente que isso aqui...

E25: (É base). É que eu pensei... que era ligação de hidrogênio.

P: Mas na verdade são bases, né?

E25: É.

P: Só que então, considerando que isso são as bases, você já me falou que quando forma a cadeia é um nucleotídeo unindo a outro, certo?

E25: É.

P: E a minha pergunta para você é, essa figura pode induzir uma interpretação de que ao invés a formação da cadeia sendo nucleotídeo unindo a outro nucleotídeo, você tem um esqueleto fosfodiéster...

E25: Uhum.

P: E a base (vem e se une) ao esqueleto fosfodiéster.

E25: Tá. Eu não consigo visualizar assim. Mas eu acho que é porque antes de ver essa imagem, eu já tinha visto uma imagem anterior de um nucleotídeo aqui, o outro aqui e a união entre eles mostrando a ligação fosfodiéster e que era isso, entendeu? Então eu já tenho isso na minha cabeça.

P: Você já tem esse conceito?

E25: É, mas se eu não tivesse, talvez eu poderia pensar que sim, tudo é possível.

P: Entendi. Eu vou te mostrar uma animação aqui e aí e eu vou te pedir para que você me diga o que você visualiza a partir dela, tá?

E25: Uhum. Essa aqui?

P: Uhum. Sobre essa animação ((Animação da transição gradual entre modos de representação tridimensional)), você considera que é importante para o aprendizado sobre estruturas tridimensionais de moléculas, que a transição de um modo de representação para o outro seja gradual e indicada por texto?

E25: Eu acho que sim, pode assistir de novo?

P: Pode.

(...)

E25: Eu acho que é bom quando é indicado por texto. Mas assim também dá para entender.

P: Mas a transição no sentido de sair de um modo...

E25: Sim... então, eu acho... se é indicado por texto, como assim? "Modo bastão"?

P: Isso.

E25: Eu acho que pode ser, melhor. Quanto mais informação, melhor para mim. Na minha opinião.

P: O fato de ser uma transição gradual você acha que é importante?

E25: Sim, tem que ser gradual, porque você consegue perceber a diferença entre elas. Dá para ter mais atenção. Quando é muito rápido ou quando só passa de uma para a outra, assim, rapidinho, você não consegue perceber... e visualizar, por exemplo, essa estrutura estava de uma maneira naquela molécula, aí nessa representação ela está de uma outra maneira, mas é a mesma estrutura. Então fica mais fácil para você identificar a mesma estrutura em diferentes representações.

P: Quando faz essa transição gradual...

E25: Isso, é.

P: É importante para você ver que uma coisa é igual a outra?

E25: É. Que nem esse aqui é grupo fosfato, na outra o grupo fosfato estava mais para cá, era fosfato, era uma bolinha, aí aqui já está uma coisa mais retinha, já está mais aqui do lado, mas também é grupo fosfato.

P: A mesma coisa que estava lá só que em uma forma de representação diferente.

E25: Isso.

P: Está certo. Agora eu vou te mostrar outra coisa. Aqui já entra uma animação que estava mesmo no tutorial do DNA.

E25: Ah, sim.

P: Esse é só o final dela, teve toda a animação antes, eu estou te mostrando só a figura final, mas o que eu quero te perguntar é se você considera que a presença do texto apresenta a próxima ao elemento estrutural é importante para guiar a exploração da molécula? Por exemplo, aqui tem uma fenda maior, fenda maior e fenda menor está indicando. Tem um texto, que é aquilo que você falou no início, né?

E25: Sim, eu acho legal, assim.

P: Interessante para poder...

E25: Sim, fica mais fácil para o aluno. E aí depois, aí só no final, quando quiser, por exemplo, mostrar a molécula e deixar para o aluno, ele mesmo pegar e ficar assim... tirar isso daqui para não ter colinha. Aí ele fica estudando, fenda menor, fenda maior, não sei o quê.

P: Uhum. Para ele poder analisar e saber se ele aprendeu.

E25: Isso, eu acho que seria melhor.

P: O tutorial foi apresentado na forma de perguntas e respostas. Eu vou passar rapidamente porque, como tem muito tempo, para você recordar, mais ou menos, como era a estrutura do tutorial. Então, assim, primeiro a pergunta, tinha uma resposta, aí você clicava aqui, visualizava a animação. Ia para o próximo, pergunta, resposta, animação, e assim sucessivamente. Sempre perguntas e respostas.

E25: Isso aqui que a gente respondeu? Ou não?

P: Isso aí foi o que vocês...

E25: Isso que a gente leu, né? E aí depois você deu uma folha para a gente responder.

P: Isso, a folha para vocês... vocês fizeram, responderam, (inint) (00:43:23) e depois fizeram um pós-teste pra mim, lembra?

E25: Aham.

P: Mas esse aqui que é o tutorial mesmo, foi esse recurso que vocês utilizaram, entendeu? E o que eu quero saber de você é se você considera que a sequência do conteúdo apresentado, como pergunta e resposta, ela favorece o aprendizado sobre estrutura do DNA?

E25: Eu acho que favorece. Eu acho que melhora, sim. Eu aprendo melhor dessa maneira. Na minha opinião, com pergunta e resposta.

P: (Inint) (00:43:55)?

E25: É, porque... eu acho que fica mais dividido, sabe? Você não tem que ficar depois meio que procurando as coisas em um texto, já está mais fácil de ter aquela informação.

P: Entendi. Você (inint) (00:44:15)... no final do tutorial, depois que passa tudo, tinha essa figura associada com a animação. Você lembra disso?

E25: Não lembro dessa...

P: Mas ela funciona assim, você clica e aqui você clica na figura e você direciona a animação, está certo? Era a última coisa que tinha no tutorial, que era a parte de revisão dos conceitos. E você considera que a associação entre essa figura esquemática e a animação da estrutura tridimensional do DNA favorece a aprendizagem?

E25: Isso é importante, porque o que a gente está acostumado a ver é assim ((Representação esquemática da dupla hélice como fitas)), né? Assim ((Representação tridimensional do DNA)) não está acostumado. Então é bom quando você consegue ver a mesma coisa, mas de maneiras diferentes. Não fica aquela... impressão de que o DNA é uma molécula, assim, plana, é reta, aqui. O DNA, entendeu?

P: Quando você vê essa figura esquemática você tem essa ideia?

E25: Eu tenho, não consigo imaginar o DNA como uma molécula que dá volta, sabe? Não...

P: Uhum. Então é bom quando associa com a tridimensional?

E25: É.

P: Quais pontos negativos do tutorial você acha que precisam ser melhorados?

E25: Eu gostei bastante do tutorial. Não sei que ponto que precisaria ser melhorado. Eu não lembro, eu acho que quando você... você fez uma avaliação, não fez? Era perguntando o que achou, alguma coisa?

P: Uhum.

E25: Eu não sei, eu acho que se eu coloquei algum ponto negativo, eu coloquei lá. Agora, no momento, eu não vou lembrar.

P: Entendi.

E25: Mas que eu me lembre eu achei que foi muito bom. Inclusive eu até... no laboratório do IQ, tem que ter a senha USP para entrar nisso daqui?

P: Não, é só (inint) (00:46:24), se você quiser eu te envio por (e-mail).

E25: É porque agora a minha irmã está na faculdade, aí eu vou passar para ela visualizar.

P: Ela está fazendo o quê?

E25: Medicina. E aí tem...

P: (Inint) (00:46:40)?

E25: Não, ela faz na (...). E aí para ela... e assim como lá eles adotam um estilo que a maioria das faculdades de Medicina estão adotando agora, que é... não é o método tradicional, que é, tipo, vem professor e dá aula. É meio que o aluno que tem que correr atrás.

P: Será que é o PBL?

E25: É, esse aí. Então eu acho que às vezes... eu acho que eu ficaria com bastante dificuldade nesse...

P: Que a gente não está acostumada, né?

E25: É, que a gente não está acostumada. Desde a escola já está tudo ali, entendeu? Então eu acho que para ela vai ser uma boa, assim, se tiver (inint) (00:47:23).

P: Você disse que você (inint) (00:47:31) que você colocou, mas assim, pelo que você lembra, algum ponto negativo interferiu na sua aprendizagem sobre o conteúdo?

E25: Não, não teve nenhum ponto negativo, pelo contrário, eu acho que eu... foi bem positivo.

P: Tem alguma coisa que eu não te perguntei? Tem algum comentário que você queira fazer?

E25: Não. Acho que parabéns por você conseguir fazer isso, porque é difícil, né?

P: Um pouco. ((risos))

E25: Porque torna uma coisa, assim, o DNA até que mais interessante. Porque eu, sinceramente, nossa... para mim, é o que eu falei, Biologia Molecular era o "ó", sabe? Eu não entendia nada e eu tenho vários amigos que saíram também nessa mesma coisa. E seria legal se pudesse ter mais tutoriais assim com todas as partes, que nem por exemplo, transcrição, você vê, tradução, formação da proteína, ligação do aminoácido no RNA transportador. Que aí fala assim, "tem aqui vários sítios, vários não sei o quê", e aí você consegue visualizar direitinho, eu acho que ficaria melhor.

P: Uhum, sim. É uma ideia para que com isso eu consiga formular uma metodologia para a produção de outros tutoriais.

E25: É, ia ser legal.

P: Mas é isso, muito obrigada. Eu vou encerrar a entrevista aqui.

E25: Ah, tá.

P: E vou salvar o áudio.

E25: Nossa, depois tem que ouvir o áudio de todo mundo de novo?

P: Tem que transcrever.

E25: Nossa senhora, que trabalho.

(Fim da transcrição)

APÊNDICE O

Entrevista com estudante 36

Legenda:

(inint) – Trecho sem compreensão.

(palavra 1 / palavra 2) ™ incerteza da palavra / hipótese alternativa.

((palavra)) ™ comentários da transcrição.

... Pausa momentânea

(...) Demonstração de corte em trechos não relevantes.

Áudio: Estudante36

Duração: 00:37:29

P: Pesquisadora

E36: Estudante Identificado pelo número 36

(Início)

P: Então olha só, a primeira parte da entrevista eu vou te fazer umas perguntas que estão relacionadas com visualização da estrutura molecular e qual é a representação da estrutura, tá certo? Já a segunda parte está mais relacionada com a percepção que você teve pra vê se os princípios que eu adotei pra construir o tutorial, na sua opinião eles te ajudaram, favoreceram a sua aprendizagem. Tá certo? E com base nisso eu vou poder fazer algumas melhorias. Então é...

E36: Eu já peço desculpas adiantado que eu realmente não lembro de muita coisa. ((risos))

P: Não têm problema, eu sei que têm muito tempo que vocês fizeram. Não é uma coisa assim para eu poder avaliar conteúdo, tá certo? A estudante 31 já até fez a entrevista e não é realmente o intuito de avaliar o conteúdo, eu quero ver o que ficou na sua memória, mas (inint 00:00:55). Tá certo?

E36: Tá bom. ((risos))

P: Então eu vou te fazer a primeira pergunta que é... Visualizar as animações da estrutura tridimensional do DNA te ajudou na aprendizagem sobre o conteúdo de estrutura do DNA?

E36: Eu acredito que sim, mesmo principalmente pra vê né como que funciona a dupla hélice, os espaços que têm né, aquele espaço entre as cadeias e entre as duas fitas. Ah, eu não sei explicar direito ((risos)). Mas pra mim ajudou porque aí a gente consegue entender melhor né o funcionamento do DNA, como que se ligam as bases, as estruturas que formam o DNA, porque que forma a hélice. Das estruturas que se atraem por um lado e se repelem pelo outro, por isso forma. Aí isso pra mim é bom. Eu prefiro na verdade quando têm alguma coisa pra eu vê porque aí fica mais fácil de eu explicar isso na vida, assim...

P: Aham.

E36: Eu acho mais prático. Nas outras matérias também eu tento achar alguma imagem que eu possa ajudar pra explicar algum esquema, ou, que auxilie nos meus estudos mesmo. Vai que eu lembro na hora da prova né! ((risos))

P: Verdade.

E36: Ou na hora que eu precise no futuro.

P: E em relação assim, em relação à figura tridimensional você acha que ela é melhor...

E36: É melhor. É porque de vez em quando a gente vê assim no papel e fica uma coisa assim meio estranha. Você até sabe, ah! Tem profundidade, que nem, a gente mexe muito com microscópio.

P: Uhum.

E36: Então, ah, tem que mexer no micrômetro porque têm coisa que está abaixo, têm coisa que está acima. Você têm que ficar mexendo, aí fica meio o que que tá em cima, o que que tá em baixo. Aí eu fico meio confusa. ((risos))

P: (inint 00:02:32) ((risos))

E36: Então me ajudou bastante.

P: É?! Que bom!

E36: É que é bonitinho, né?! ((risos)) Eu acho muito legal.

P: Que legal! Você possui alguma dificuldade de interpretar representações tridimensionais de moléculas?

E36: Nossa, faz tempo que eu não vejo.

P: É?

E36: É. Mas acho que não sei. A gente nunca viu muito na verdade. É basicamente tudo no papel mesmo então não, não sei se eu consigo explicar pra você se eu realmente tenho ou se eu não tenho dificuldade.

P: Se você tem dificuldade, né?!

E36: É.

P: Foi a primeira vez que você usou?

E36: Acho que sim.

P: Um software de visualização de moléculas (ininteligível) [01:30] (risos)

E36: Esse tipo sim.

P: (inint 00:03:13).

E36: Ah, tem os videozinhos assim, não sei o que, mas geralmente não acho tão tipo isso.

P: E com você manipulando?

E36: Eu prefiro. Sim. Acho mais interessante. ((risos))

P: É?

E36: É, porque aí não fica uma coisa só passiva né, não é só você recebendo informação, você tentando construir a sua informação em cima daquilo, então...

P: Que legal.

E36: Ajuda a conectar as coisas pra mim ((risos)).

P: Que legal. Você acha que comparando antes e depois de usar o tutorial houve melhora na sua habilidade de interpretar as representações tridimensionais?

E36: Acho que sim. Por causa da manipulação mesmo. Dava pra gente rodar ele até... ((risos))

P: Você gostou mesmo né?!

E36: Eu gostei, foi muito divertido. ((risos))

P: Que legal... fico super feliz.

E36: ((risos))

P: Eu também não posso falar muito, porque eu não posso te induzir assim... com as coisas, mas estou adorando.

E36: ((risos))

P: Antes de iniciar as explicações sobre a estrutura do DNA, você lembra que no início o tutorial explicou os diferentes modos de representação tridimensional, lembra? Tinha as (inint 00:04:24), aí depois tinha bola-e-bastão, que era aquilo que era os átomos representados por bolas...

E36: Ah, sei, sei, sei...

P: Aí tinha uma outra representação que era de fitas, que é aquela que você geralmente vê de esquema, né? E tinha representação de superfície molecular, você lembra de ter visto isso antes de iniciar o tutorial?

E36: Eu lembro de ter visto em algum slide de algum dos professores, e tinha mostrado o, a...mas esse último eu não lembro. ((risos))

P: Não? De superfície molecular?

E36: Ah, eu não lembro, eu acho.

P: Uhum.

E36: Não é muito familiar esse nome.

P: Esse nome. Mas assim, antes de iniciar o tutorial, é, teve uma parte que tinha um link lá falando pra você clicar pra você visualizar os diferentes modos de representação tridimensional. Você não lembra de ter visto isso antes?

E36: Hum... não eu procurando assim em algum lugar... pra não sei ajudar nos estudos, só no slide do professor mesmo é que tinha, eu lembro de alguma coisa de bolinha. ((risos)) Só as estruturas mesmo, as moléculas que ela tava mostrando pra gente.

P: Entendi. É, você acha que é importante explicar essas diferenças dos modos de representação antes de já colocar a animação pra pessoa vê?

E36: Ai eu acho que é ((risos)), porque eu sinceramente não sei a diferença porque que têm tantas fórmulas pra você representar a mesma molécula.

P: Entendi.

E36: Eu não me lembro na verdade. Desculpa.

P: Não, que isso. É, eu vou te mostrar três animações, tá certo? E aí eu vou te pedir que você veja nessas animações aquilo que você lembra e aí você indica pra mim com o mouse a estrutura ou o conceito, a região, você vai conversando comigo e falando comigo aquilo que você quiser a respeito dessa animação.

E36: Desse eu lembro. ((risos))

P: Lembra?

E36: De ter visto em alguma aula.

P: Você usa o mouse pra indicar alguma coisa, porque como eu vou gravar a tela eu consigo vê o que que você indicou, depois.

E36: Ah, eu lembro que aqui são as ligações entre as bases né? Mas explicar o que que é o que, eu não sei fazer...

P: Tem problema não, é o que você lembrar.

E36: E isso aqui eu não lembro exatamente o que que é cada um... mas é, faz parte da estrutura do DNA de... da pentose, do sulfato, acho... é isso? não!? Eu não lembro ((risos))

P: ((risos))

E36: Mas do que não é a base pra ligar com a outra fita do DNA. E agora o que cada bolinha é eu não sei. Essa, os tamanhos diferentes de bolinhas e a bolinha dentro da bolinha aqui, esse aqui...

P: Hum, tá.

E36: É porque tá cinza, têm umas bolinhas cinzas.

P: Uhum. Assim, você falou umas coisas quando a gente começou, você falou dupla hélice. O que que você consegue visualizar sobre as coisas que você falou antes?

E36: Aqui é a dupla hélice, né aquela fitinha que vai girando.

P: Aham.

E36: Aqui as ligações... eu não lembro mais o que eu falei ((risos)). Ah, mas eu acho que é basicamente isso que eu, eu entendo. Bem provável que está destacando as ligações entre as bases, mas o que que é o que eu não sei identificar.

P: Tá. Você lembra o nome dessas ligações?

E36: Peptídicas? Não?! Essa eu não... não... Pontes de hidrogênio? É?! Peptídica é qual?

P: Peptídica é que une aminoácidos na proteína.

E36: Ah é, é mesmo. Desculpa. ((risos))

P: Não, que isso. Olha, então eu vou te mostrar uma outra animação, aí você faz a mesma coisa, por favor.

E36: Como que chama isso?

P: Primeiro eu vou te mostrando as animações, aí você vê o que que você vai lembrando. Aí depois que eu te fizer mais algumas perguntas a gente volta para poder a gente conversar melhor e eu vou falando os nomes. Eu não vou falar de início que é pra gente vê o que que você se recorda.

E36: Ah, tá bom. Eu posso aumentar?

P: Pode, claro! Fica à vontade.

E36: Opa... Opa... Eita... ((Estudante 36 está aumentando o zoom da animação)). **Essa daqui são as mesmas ligações né que estavam no outro, até que dá para vê se têm duas pontes ou três pontes, mas eu, calma que...hum... nossa, eu to girando já o...**

P: Fica tranquila, você pode mexer do jeito que você quiser.

E36: É, eu não consigo vê se têm dois ou três porque eu não tenho muitas habilidades ((risos)).

P: Na verdade, elas ((Ligações de hidrogênio)) não estão representadas nessa animação...

E36: Ah, não?! Ah, achei que tava... É, eu sei que uma ponta é a 5' e a outra é a 3', mas qual que é qual eu não sei. ((risos))

P: Você não sabe (inint 00:09:40)

E36: E não ta mexendo...

P: Assim...

E36: Ah, desculpa. ((risos))

P: Não, tudo bem.

P: Tá vamos para a próxima. Eu vou rodar essa animação de novo e aí você vai... Você vê nela aquilo que você... Enquanto vai rodando você vai falando aquilo que você consegue ver, me mostrando também.

E36: Tá. Ai... aqui é a pentose, tá bom a pentose sumiu. Não! Cadê a pentose que tava aqui? É verdade! Têm ligação fosfodiéster ((risos)). Hum, eu não lembro o que é isso... É eu não lembro qual que é 5' e qual que é 3'.

P: Qual que é 3'? É... Se eu falar assim pra você, fosfato e hidroxila, você lembra quem tá em uma ponta e quem tá na outra?

E36: Hum... Calma. Eu sei que o sentido era 5' para 3', quando a gente fazia os DNA. O OH ta no 3', não?! É? É?

P: Uhum.

E36: Então o fosfato tá na outra... Então qual que é qual aqui ((risos)).

P: Eu queria que você analisasse se você acha que a visualização te ajuda...

E36: Ah, é verdade..

P: A você entender... o computador ta demorando a pensar aí.

E36: Não, mas dá pra vê que têm as bolinhas aqui, que têm o fosfato e aqui que é o OH.

P: É que o computador ta rodando muita coisa também.

E36: Não, tudo bem.

P: Você acha que visualizar te ajuda?

E36: Ajuda ((risos))

P: É? Pra você saber onde que é o fosfato onde que é o OH.

E36: Eu tinha esquecido já, eu acho que ajuda. Eu só não sei qual que é o O ((Oxigênio)) e qual que é o H ((Hidrogênio)), mas eu acho que o H((Hidrogênio)) é o vermelhinho, porque aqui também têm.

P: Não o H ((Hidrogênio)) é o branquinho, na verdade.

E36: Não, H ((Hidrogênio)), não OH.

P: Ah, o hidrogênio?

E36: Isso.

P: Então, é o branquinho.

E36: É o branquinho?

P: É. Porque o fosfato é o laranja e o oxigênio é o vermelhinho, aqui, tá vendo?

E36: Ah, tá.

P: Tá, eu vou te mostrar uma outra animação agora. Quando você isso aqui o que que te lembra?

E36: Nossa! Eu não lembro dessa. ((risos))

P: Não?

E36: Hum, não.

P: Mas assim, não da animação, de você lembrar da animação, mas quando você vê essa animação você recorda algum conceito sobre a estrutura do DNA?

E36: Hum... Dá pra vê a formação da cadeia aqui né, os fosfatos, isso aqui eu não sei o que é ((risos)), mas as ligações entre as bases não, não entendo nada aqui. Acredito que essa forma de imagem não é o que expressa assim, não é o principal foco dela, mas eu não sei explicar qual que é o foco dela pra você.

P: Uhum. É, esses espaços aqui, você falou alguma coisa sobre profundidade...

E36: Hum...

P: Você lembra alguma coisa a respeito do DNA, o que que têm, é... que que você consegue representar quando você coloca... na verdade assim, o que que profundidade significa pra você em relação ao DNA, têm alguma relação? Assim...

E36: Acho que facilita pra entender como que a hélice vira, porque a gente tinha que fazer uns, meus desenhos no papel são horríveis e quando eu fazia ficava sempre meio estranho, uma coisa meio, somente antes de entrar pra faculdade que a gente realmente não vê nada no computador... além de besteira né, então... aí eu ficava meio confusa. Assim, eu olhava aqueles desenhos, essas coisas e eu ficava, nossa mas como que é... Aí depois aqui que foi ter algumas imagens, mais de livro, essas coisas mais didáticas aí que eu fui entender como que funciona a hélice porque eu não tava entendendo como que... mas aqui dá pra vê bonitinho por causa da profundidade...

P: Dá pra você vê o giro dela né?!

E36: Isso, isso!

P: Você lembra do eixo da hélice?

E36: Hum, não. ((risos)) lxxi, não, não lembro.

P: Esses espaços aqui, olha, isso aqui ((indicando com o mouse a fenda maior)) e isso aqui ((indicando com o mouse a fenda menor)), te lembra alguma coisa?

E36: Eu lembro que tinha um nome pra cada um, mas eu não lembro qual era o nome de cada um ((risos)).

P: É, mas você lembra que tinha...

E36: Era o espaço entre as cadeias e os espaços entre as hélices. Alguma coisa assim, não sei direito. ((risos)) Entre as cadeias né e entre as pontas das cadeias, não sei explicar direito. Era alguma coisa do tipo. Eu lembro que era diferente, mas eu não lembro dos nomes. ((risos))

P: Você lembra... o nome é fenda.

E36: Ah, sim!

P: Lembrou?

E36: Sim. Agora o nome da fenda eu não sei.

P: Por exemplo, onde... aqui você vê a fenda em algum lugar nessa imagem?

E36: Aqui ((indicando com o mouse a fenda maior)) e aqui ((indicando com o mouse a fenda maior)).

P: Uhum. Aqui? ... Mostra de novo por favor.

E36: Aqui assim e aqui.

P: Uhum. Tá.

E36: E aqui tem outra né ((indicando com o mouse a fenda maior)).

P: Aham. É a fenda maior e a fenda menor.

E36: Ah, era só esse nome?

P: É.

E36: Ah, que coisa. ((risos))

P: ((risos))

E36: Bem sugestivo né. ((risos))

P: Então, era isso. Você lembra o que que ficava exposto nessa fenda maior e fenda menor?

E36: Hum... não me lembro.

P: Não? Se você vê essa imagem aqui ((Grupos químicos)) você consegue vê o que ficava exposto nas fendas?

E36: São as ligações entre as bases? Hum, não sei se fica muito exposto na verdade. Hum... eu não lembro.

P: Não? Tá, tudo bem, tem problema não. Tá, então agora eu vou te fazer algumas perguntas. É, você considera mais fácil compreender esses conceitos e estruturas que você indicou manipulando e visualizando animações tridimensionais ou por meio de figuras do DNA presentes no livro didático?

E36: Eu acho que os dois são importantes na verdade, que nem sempre a gente vai poder ter esses recursos. Tem que se acostumar também com o livro didático, mas acho que assim fica mais fácil de entender, pelo menos pra mim.

P: Uhum...

E36: Essa questão de manipular facilita, por exemplo você vê uma estrutura lá no livro ta escrito sei lá, mas um ponto lá que fala assim, assim e assim... e você olha no livro e fica uma coisa meio estranha, aí procura na internet e vai vê têm uns desenhos meio ruins, mas de vez em quando aparece um bom de alguma coisa. Aí pra mim facilita, esses desenhos, principalmente os que dá pra manipular...

P: Os que são tridimensionais?

E36: Isso.

P: Entendi. É mais ou menos nesse sentido, a outra pergunta. Você prefere aprender sobre a estrutura do DNA por meio de uma aula expositiva ou usando um recurso didático interativo como o tutorial? Se sim, por que?

E36: Eu... hum... Eu acho que eu prefiro por tutorial... É porque é diferente de uma aula expositiva, você basicamente só absorve, você não têm a chance de construir nenhum tipo de conhecimento naquela hora. Já no tutorial, assim, precisa ter umas explicaçõeszinhas, eu acho que isso ajuda, mas você construir a sua molécula, digamos... aos pouquinhos, ou destacar... ah, essa parte é isso... ah, essa outra parte é isso. Eu acho que facilita porque vai fixando mais na sua memória, não fica só uma coisa que você absorveu e ah, uma hora eu acho que eu lembro. Acho que com imagem ajuda bastante a estudar. Eu acho pelo menos.

P: Entendi. Você falou sobre que é bom ter uma explicaçõeszinha. É, como tem muito tempo eu vou te mostrar qual que é a estrutura do tutorial. Não sei, você lembra que tinha textos antes?

E36: Uhum.

P: Quando você diz explicação é tipo ter um texto associado?

E36: Isso, isso.

P: À imagem tridimensional, aquilo que ta sendo mostrado na animação, isso?

E36: Eu não sei se no tutorial também tinha, mas por exemplo quando vai citar algum trecho, esse trecho é de ligação, esse aqui é ligação fosfodiéster, ligação de hidrogênio, aí tipo brilha, sei lá, aparece cor diferente. Eu não se tinha no tutorial.

P: Você diz, por exemplo, essa animação aqui que eu te mostrei...

E36: Aquela do fosfodiéster, é que que.. eu gosto disso. É, tinha também, como que chama, biologia celular... quando a gente olhava as lâminas aí aparecia assim as estruturas, a gente tinha meio que ir procurando. Dava pra você achar a resposta fácil, mas dava a lâmina e o texto do lado, aí o trecho da estrutura que dava pra achar na lâmina tava com uma cor diferente e quando você passava o mouse em cima aparecia na imagem. Aí eu achava bem interessante porque dava pra...

P: Então era mais ou menos assim, nessa animação que eu te mostrei, ela vai indicando com texto.

E36: Isso...

P: Você acha que isso é importante?

E36: Eu acho. É porque eu não sei, não adianta pra mim só aparecer as imagens e eu não está entendendo nada e continuar não entendendo nada, ficar olhando... ah que bonito!

P: Então, por exemplo, quando aparece ligação fosfodiéster ((legenda: Ligação fosfodiéster))...

E36: Ajuda. ((risos))

P: Próximo a aquilo que está sendo indicado, que está sendo mostrado né?!

E36: Sim, sim.

P: Essa parte de piscar você acha que é importante?

E36: Ah, é bom pra chamar atenção.

P: Ta joia. É... Usar o tutorial te despertou a vontade de procurar recursos didáticos interativos pra estudar pra outras disciplinas em complementação ao uso dos recursos didáticos convencionais como os livros e os slides que o professor disponibiliza?

E36: Com certeza.

P: É?

E36: É que facilita bastante o nosso estudo, como a gente tem que passar muito tempo sentado estudando. Assim, é o nosso trabalho né, a gente não faz nada além de estudar. Aí de vez em quando a leitura no livro fica muito cansativa, o livro não é tão didático, mas é o único que têm, então fica meio complicado. Eu estou pensando não sei porque em anatomia, mas assim em anatomia a gente têm muito problema com as peças que elas vão se deteriorando, claro né, com a manipulação, várias pessoas diferentes mexendo, nem todos cuidam ou, enfim... isso acaba... meio que as peças começam a esfarelar, umas coisas meio ruins assim. Aí eu não sei pra mim ajudaria, que a gente fazia muito vídeo em anatomia pra tentar estudar, e também porque falar ajuda bastante né.

P: Vocês faziam os vídeos?

E36: Isso. Usando as peças para não ter que manipular muito a peça também e também que dava pra vê, então qualquer coisa era só deixar no mudo e a gente, ah, isso aqui é isso aqui, isso aqui é isso aqui...

P: Então vocês filmavam as peças...

E36: Isso.

P: E depois manipulavam os vídeos, isso?

E36: É, a gente filmava assim, conforme a gente estudava, ah! terminamos de estudar essa peça, antes de ir pra outra a gente gravava tudo da peça que a gente sabia e depois já ia pra outra peça, aí era bom pra estudar em casa depois.

P: Que legal isso.

E36: Aí eu acho que era essa outra matéria de biologia celular né, que tinha que... problema que só tem de um semestre né, então... ((risos)) os outros não da pra achar, ((risos)) ... mas, parasitologia também tem um site que dá pra procurar... é meio complicado aquele site, mas tudo bem ((risos))

P: Mas ajuda né...

E36: Já ajuda. Eles também fazem pranchetas pra gente, eles disponibilizam pra estudar, então eu prefiro.

P: Procurar recursos didáticos? Você já tinha costume de procurar esses recursos antes?

E36: Hummm... procurar assim um software que nem o seu, ou explicativo assim...

P: Não?

E36: Eu não... tudo bem que eu não acho ((risos)), eu acho que não têm pra maior parte das minhas matérias, mas... seria interessante sim.

P: Se tivesse mais...

E36: Eu acho que têm mais pra quando é ensino, ensino médio e fundamental, que a didática é bem mais assim...

P: Se preocupam mais em produzir recursos didáticos né?!

E36: Sim, aí eu acho que, eu lembro de vê muito videozinho, muita coisinha assim que os professores que os professores faziam ou que eles sabiam que alguém tinha feito e eles passavam.

P: Aham...

E36: Lá na faculdade...

P: Na faculdade não têm tanta gente, não tem tanto recurso assim né...

E36: Não têm nem livro de vez em quando ((risos))

P: ((risos))

E36: É tão triste...

P: É, mas é... Então você acha que usar o tutorial te despertou a vontade de procurar...

E36: Sim...

P: outros recursos didáticos?

E36: Sim.

P: Bacana. É, eu vou te mostrar uma figura agora e aí eu vou te fazer uma pergunta sobre ela, ta joia? É essa figura aqui, aí você dá uma analisada e interpretada nela.

E36: hum...

P: A pergunta é: você acha que essa figura poderia induzir uma interpretação de que a estrutura do DNA é resultante da incorporação de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas?

E36: Hum ((risos))

P: Essa figura... A interpretação dessa figura da estrutura do DNA, você acha que poderia induzir um aluno a achar que a estrutura do DNA é resultante da incorporação de bases nitrogenadas ao esqueleto fosfodiéster por meio de reações químicas?

E36: Ah, faz sentido. Eu acho que se eu não conhecesse talvez sim.

P: Por que?

E36: Parece que é uma coisa encaixada no DNA, não faz parte do DNA... cada pontinha de um lado. ((risos)) Mas eu acho que, nessa forma de... Uh! Desculpa ((Folha cai))... nesse tipo de ilustração realmente, eu acho que pode sim... a alunos desatentos ou no primeiro, primeira vez que vê pode achar que é alguma coisa separada, as bases entram e se encaixam... elas não tão, não fazem parte do esqueleto, da fita única do DNA.

P: Que elas não fazem parte da fita?

E36: Isso.

P: Quando você fala se encaixam, se encaixam onde?

E36: No, entre os espaços do DNA, das fendas.

P: Se encaixam nessa parte azul ((Esqueleto fosfodiéster)), certo?

E36: Isso, é.

P: Que é o esqueleto fosfodiéster...

E36: Sim, sim.

P: Entendi.

E36: Eu acho que é por causa da cor... talvez, não sei.

P: Entendi, ta joia. É, a próxima pergunta... aqui já é referente a alguns princípios que eu adotei pra construção... a gente já até falou sobre alguns deles, mas eu vou te perguntar de novo algumas coisas. É... Visualizando essa animação aqui... Que que você consegue interpretar dessa animação?

E36: Hum ((risos))... que de três de construir o DNA assim... a aparência dele, eu não sei explicar direito ((risos))... mas que dá pra representar o DNA de várias formas diferentes.

P: Isso...

E36: Mas que algumas são mais fáceis de entender do que outras ((risos))

P: É? Qual dessas duas que você viu na animação que você acha mais fácil de entender?

E36: Eu acho que a do bastão é mais fácil do que as bolinhas. São muitas bolinhas juntas aí não dá pra saber que que é o que, fica uma coisa meio, uma massa meio estranha.

P: Entendi. É, você falou que são várias formas de representar o DNA, então você consegue vê por essa animação algo, uma equivalência entre as duas formas?

E36: Acredito que as cores ajudam bastante...mas dá pra perceber sim.

P: O fato de na animação ter colocado uma transição gradual entre (inint 00:26:55), isso ajuda?

E36: ((risos)) Isso ajuda!

P: É? É, tipo a bola ta grande e depois ela vai diminuindo, diminuindo, vai até que você vai vendo o bastão. Isso você acha que ajuda pra você vê que uma coisa é igual a outra?

E36: Acho que sim... e pra manter no mesmo plano né porque de vez em quando têm várias representações e tá um pouquinho diferente e as vezes a gente já confundi. Têm o contrário também?

P: Não nessa animação, mas tinha no tutorial ao contrário, poderia sair dessa que tá bastão e ir aumentando o volume da bola.

E36: Só uma curiosidade.

P: Ta bom. É, então eu vou fazer umas perguntas que você já respondeu, mas só pra eu seguir os pontos, tá?

E36: Você considera importante pra aprendizagem sobre a estrutura tridimensional de moléculas que a transição entre um modo de representação e outro seja gradual e indicada por texto?

E36: Indicada por texto?

P: É, indicada por texto é por exemplo, eu coloquei que tava saindo de um modo pro outro.

E36: Ah tá, ah sim. Ajuda sim e por ser gradual, gradualzinho mesmo, bem bonitinho aí ajuda sim.

P: Ta joia. Você considera que a presença de um texto... ai, desculpa, eu vou ter que te mostrar um outra figura, um outro, uma animação... essa daqui. Essa é uma das animações que tava no tutorial, se você quiser mexer aí fica à vontade. É, você considera que a presença do texto, legenda, apresentado próximo ao elemento estrutural é importante pra guiar a exploração da molécula tridimensional?

((risos)) Então, ter junto facilita.

P: ((risos)) É porque, por exemplo, aqui tá o texto né?!

E36: Uhum.

P: Mas só tá lá no texto as vezes na hora que a pessoas vai olhar a animação né... então é importante que esteja na animação também. É, você considera que... porque o tutorial... eu vou te mostrar pra que você lembre um pouco. Ele é organizado em perguntas e respostas, e depois tinha a animação. Então era dessa forma assim né, você via a pergunta depois você via a animação e eram várias perguntas. Não sei se você lembra disso, mas as vezes você ficou com a percepção, uma impressão. Você considera que a presença é de pergunta e resposta é importante pra explicar o conteúdo e serve de suporte pra guiar a exploração da molécula?

E36: Acho que sim porque as perguntas eram bem relacionadas ao texto que tava escrito, se bem que eu não lembro das perguntas ((risos)). Mas como o texto, assim basicamente a gente lia o texto e vamos procurar o que o texto falou na hora, na estrutura, aí procurava vê se tinha achado tudo, aí achamos tudo... ah, então vamos pro próximo. Eu acho que ajuda sim a guiar os estudos, facilita. Assim o que é importante de ver nessa hora, nesse lugar, nessa molécula a gente consegue vê isso, isso e isso. Ah, então tá. Próxima molécula.

P: Então você lia o texto e depois procurava o que você tinha lido no texto na animação?

E36: Sim. Uhum.

P: Entendi.

E36: Aí se não dava pra vê aumentava ((risos))

P: Que legal. Você considera que a sequência de conteúdo apresentado por meio de pergunta e resposta favorece a aprendizagem sobre a estrutura do DNA?

E36: Sim.

P: Você considera que a associação entre a figura esquemática... porque no final do tutorial tinha uma figura esquemática que era essa e tava associada com essa animação. Você se recorda assim, se você acha que isso é importante essa associação entre uma figura que é bidimensional com uma que é tridimensional?

E36: Ah, eu acho que sim. Porque a gente tá muito acostumado a vê bidimensional também, então não sei, eu tenho dificuldade de relacionar um com o outro. Aí eu acho que é legal porque a gente lembra quantos carbonos têm em cada lugar e fica procurando e como cada átomo tá de uma cor diferente, é átomo né? Tá de uma cor diferente, então dá para... seria legal se os átomos estivessem da mesma cor, assim ((risos))

P: Você diz aqui na bidimensional?

E36: É, na bidimensional com a tridimensional.

P: Hum, interessante!

E36: Eu acho que eu não sei se isso dá trabalho para fazer.

P: Não, até que não dá trabalho não. Eu não tinha pensado no que você falou, mas realmente faz sentido.

E36: Que aí fica mais fácil de assimilar, principalmente se tiver cor que não é a que bate em baixo, aí confunde. Mas como a gente tá muito acostumado com isso ((Diagrama bidimensional)) e é isso que a gente faz no papel quando vai representar, então eu acho que facilita sim. A bidimensional relacionada com a tridimensional.

P: Que é o que vocês estão acostumados a vê é a bidimensional. Tá certo.

E36: Uhum.

P: Quais pontos negativos do tutorial que você acha que precisam ser melhorados?

E36: Hum. Ele travava bastante ((risos))

P: Uhum.

E36: Aí a gente também não sabia direito como que voltava pro... assim, faltava só um pedaço do vídeo, aí não queria voltar desde o começo, só queria voltar o finalzinho que é o que faltou e a gente tinha que vê de novo e de vez em quando a gente perdia e tinha que vê de novo.

P: É, essa é uma limitação realmente porque isso não têm nem como resolver. Porque a animação quando você dá play nela, ela vai executar comandos e vai executar inteiro, não é igual vídeo que você consegue pausar e voltar, entendeu?

E36: Entendi.

P: Realmente não têm como.

E36: Mas é bom que eles ((as animações)) são curtinhos, então dava pra esperar tudo de novo, pra poder ver de novo.

P: Esse foi um dos motivos para eu fragmentar tanto, né. Fazer várias perguntas porque a animação não têm como você voltar nela no meio da execução, entendeu? É, muita gente colocou isso ((comentários no pós-teste)). É uma coisa que eu não tenho como alterar no momento.

P: Esses pontos negativos interferiram na sua aprendizagem sobre a estrutura do DNA?

E36: Acredito que não. Travar a gente entende, tudo mundo deve ter um computador que trava em casa.

P: É.

E36: O programa deve ser pesado também, eu não sei o que que roda...

P: Depende da animação.

E36: Não têm problema. É só explicar, tenham paciência. Pode ocorrer algumas... travamentos ((risos)). Fora isso...

P: Tá. Têm mais alguma coisa que eu não te perguntei, que você queira falar, alguma sugestão, qualquer coisa.

E36: Hum... Têm como fazer pras outras matérias? ((risos))

P: Ah, ter tem ((risos))... Inclusive têm um projeto pra que isso seja uma disciplina pra graduação e pra pós, para que os próprios alunos possam construir tutoriais.

E36: Ai que legal!

P: O próprio aluno vai manipulando a estrutura tridimensional e aí o aluno constrói a animação. Você acha isso interessante?

E36: Ah, sim. ((risos)) Eu não sei se alguém vai ter muito tempo né, vai ter que juntar uma boa equipe.

P: Seria uma disciplina.

E36: É, então eu acho bem válido. Só mais uma pergunta: É só sobre estrutura do DNA que você fez ou você planeja fazer de outros?

P: Foi só sobre estrutura. É sobre a estrutura e estabilidade do DNA. Fiz dois tutoriais diferentes, aí com vocês eu apliquei só o de estrutura porque os conceitos de estabilidade já iam tá muito acima daquilo que vocês, mais complexos né, do que aquilo que vocês aprenderam na matéria, que é uma matéria em um nível muito bom né, mas assim não tinha o intuito de explorar tanto as interações químicas e tudo mais. Mas eu não fiz para estrutura de proteína, só DNA mesmo. Você acha que seria interessante se tivesse de outras coisas?

E36: Eu acho que sim. Facilita também os estudos. Eu sei que dá trabalho pra fazer... um dia quem sabe.

Fim da transcrição.

SÚMULA CURRICULAR

DADOS PESSOAIS

Nome: Larissa Assis Barony Valadares Fonseca

Local e data de nascimento: Timóteo – Minas Gerais – Brasil, 02/08/91

EDUCAÇÃO

Escola Estadual Carlos Drummond de Andrade, 1998-2001.

Escola Estadual Dr. Ovídio, 2002-2003.

Colégio ASSEDIPA, 2004-2008.

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – Minas Gerais, 2009-2015.

Graduação em Bioquímica (Bacharel)

OCUPAÇÃO

Bolsista de Mestrado, CAPES, 2015-2017.

PUBLICAÇÕES

ARTIGOS

FONSECA, L. A. B. V.; MARSON, G. A.; SOUZA-PINTO, N. C. Tutorial Estrutura e Estabilidade do DNA: animações interativas da estrutura tridimensional do DNA. Revista de Ensino de Bioquímica. V. 15, p. 75-86, 2017.

BELGINI, D. R. B.; DIAS, R. S.; SIQUEIRA, V. M.; **VALADARES. L. A. B.**; ALBANESE, J. M.; SOUZA, R.S.; TORRES, A. P. R.; SOUSA, M. P.; SILVA, C. C.; DE PAULA, S. O.; OLIVEIRA, V. M. Culturable bacterial diversity from a feed water of a reverse osmosis system, evaluation of biofilm formation and biocontrol using phages. WORLD JOURNAL OF MICROBIOLOGY and BIOTECHNOLOGY, v. 30, p. 2689-2700.

RESUMOS EM ANAIS DE CONGRESSOS

46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular (2017)

DNA structure and stability tutorial.

Trabalho apresentado no stand do Journal of Biochemistry Education, referente ao 7º lugar no Prêmio de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular Bayardo Baptista Torres.

Autores: FONSECA, L.A.B.V, SOUZA-PINTO, N.C, MARSON, G. A.

Apresentador: Larissa Assis Barony Valadares Fonseca

3º Congresso de Graduação da Universidade de São Paulo - 2017

Editor de moléculas do LABIQ: uma ferramenta gratuita para desenvolver animações interativas de moléculas 3D.

Autores: FONSECA, L.A.B.V., SOUZA-PINTO, N.C., MARSON, G. A.

Apresentador: Larissa Assis Barony Valadares Fonseca

3º Congresso de Graduação da Universidade de São Paulo - 2017

Tutoriais de moléculas como ferramenta de ensino: o caso dos tutoriais “Estrutura do DNA” e “Estabilidade do DNA”.

Autores: FONSECA, L.A.B.V., SOUZA-PINTO, N.C., MARSON, G. A.

Apresentador: Larissa Assis Barony Valadares Fonseca

Congresso REDOXOMA

Guidelines to develop interactive tutorials on 3D biomolecules: DNA structure and stability

Larissa Assis Barony Valadares Fonseca

Autores: FONSECA, L.A.B.V., SOUZA-PINTO, N.C., MARSON, G. A.

Apresentador: Larissa Assis Barony Valadares Fonseca

45a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular - 2016

Guidelines to develop interactive tutorials on 3D biomolecules: the case of DNA repair by photolyase.

Autores: FONSECA, L.A.B.V., SOUZA-PINTO, N.C., MARSON, G. A.

Apresentador: Larissa Assis Barony Valadares Fonseca

II Simpósio Internacional de Microbiologia e Biotecnologia - 2013

Evaluation of the use of bacteriophages to control biofilms on reverse osmosis system used in oil refineries by scanning electron microscopy.

Autores: FONSECA, L.A.B.V., DIAS, R.S., SILVA, C.C., SOUSA, M.P., DE SOUSA, R.S., TORRES A.N., DE PAULA, S.O.

Apresentador: Larissa Assis Barony Valadares Fonseca

I Simpósio Internacional de Microbiologia e Biotecnologia - 2012

Evaluation of potential biofilm formation by bacteria of actiated sludge from petroleum refinery wwtp

Autores: FONSECA, L.A.B.V., DIAS, R.S., ALBANESE, J.M., SILVA, C.C., SOUSA, M.P., SOUZA, R.S., TORRES, A.P.R., OLIVEIRA, V.M., DE PAULA, S.O.

Apresentador: Larissa Assis Barony Valadares Fonseca

XXI Encontro Nacional de Virologia - 2010

Thermostability of Litic Escherichia coli Bacteriophages.

Autores: FONSECA, L.A.B.V., DIAS, R.S., SILVA, L.C.F., SILVA, V.D., SILVA, L.S., SOUZA, F.O., ELLER, M.R., OLIVEIRA, L.L., DE PAULA, S.O.

Apresentador: Larissa Assis Barony Valadares Fonseca