



CONTRIBUIÇÕES DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM MODELOS TÁTEIS PARA AS REPRESENTAÇÕES MENTAIS DE ALUNOS UNIVERSITÁRIOS SOBRE PROTEÍNAS

Contributions of a didactic sequence with tactile models for the university students' mental representations about proteins

Marília Faustino da Silva [mariliafaustino@prof.educacao.sp.gov.br]
*Instituto de Física de São Carlos
Universidade de São Paulo
Avenida Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos, São Paulo, Brasil*

Nelma Regina Segnini Bossolan [nelma@ifsc.usp.br]
*Instituto de Física de São Carlos
Universidade de São Paulo
Avenida Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos, São Paulo, Brasil*

Resumo

Nesse estudo investigamos as representações mentais a respeito de proteínas, dentre treze alunos universitários de dois cursos da área de Ciências da Natureza, e a contribuição de uma sequência didática para a formação/reelaboração destas representações. Para tal, realizamos uma entrevista inicial, um curso de nove horas sobre proteínas e uma entrevista final. O curso foi ministrado por meio de atividades práticas com a utilização de modelos pré-fabricados para montagem de biomoléculas. Os dados coletados foram registros escritos e audiovisuais e modelos táteis de estruturas proteicas montados com materiais de baixo custo. Utilizamos a análise de conteúdo e a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird para categorizar os alunos em modelizadores e não modelizadores e respectivas subcategorias. A sequência didática promoveu um aumento do número de alunos modelizadores, cujos modelos táteis montados e as explicações a eles associadas foram mais complexos, com detalhamento das interações intra e intermoleculares.

Palavras-Chave: Modelos mentais; Johnson-Laird; Proteínas; Ensino de Ciências; Ensino superior.

Abstract

This study investigated the mental representations of proteins among thirteen university students from two Natural Sciences courses, and the contribution of an educational method to the formation or restructuring of these representations. An initial interview was carried out followed by a nine-hour course on proteins and a final interview. The course was based on practical activities using models for the assembly of biomolecules. Written and audiovisual data were collected. In addition, tactile models of protein structures assembled with low cost materials by the students were evaluated. Data underwent content analysis, and the Johnson-Laird's theory of Mental Models was used to categorize students into modelers and non-modelers and respective subcategories. The educational method promoted an increase in the number of modelers among students, who build tactile models with associated explanations that were more complex and included detailed information on intra and intermolecular interactions.

Keywords: Mental models; Johnson-Laird; Proteins; Science teaching; Higher education.

INTRODUÇÃO

Modelos e Modelização no ensino de Ciências

Os cientistas, pesquisadores e professores constroem modelos sobre as coisas e os estados das coisas para facilitar sua compreensão e seu ensino. Esses modelos, ditos conceituais, são representações precisas, consistentes e complexas de estados de coisas, e devem ser compartilhados e aceitos pela comunidade científica (Moreira, 1996). Nessa perspectiva, o objetivo do ensino de Ciências seria ajudar, através de modelos conceituais, os alunos a construir modelos mentais adequados (consistentes com os próprios modelos conceituais) a respeito de sistemas ou fenômenos naturais (Moreira, Greca, & Palmero, 2002). Tal processo, a modelização, no ensino de ciências vem sendo foco de discussões nos últimos anos, no sentido de se determinar estratégias didáticas mais adequadas para facilitar a aprendizagem dos conceitos científicos em diferentes níveis de ensino (Justi, 2006; Oh & Oh, 2011). Sobre a forma de apresentação de conceitos ou fenômenos científicos baseada em modelos, Ainsworth (2008) propõe o uso de múltiplas representações externas (pictórica, em escala macroscópica ou microscópica, gráfica, simbólica, animação) para o aprendizado e a comunicação do tema-alvo, justificando que elas podem fornecer informações complementares acerca do fenômeno, podem restringir interpretações dos alunos por familiaridade e propriedades inerentes, e/ou podem colaborar para uma compreensão mais profunda do tema (por meio dos processos de abstração, extensão e relacional). Para a área de bioquímica em particular, Schönborn e Anderson (2006) entendem que as representações externas possibilitam que alunos e pesquisadores construam modelos mentais significativos de fenômenos bioquímicos, o que permite a visualização, integração e compreensão de conceitos desta área. Estes autores recomendam que a alfabetização visual (*visual literacy*) deveria ser componente essencial do currículo de bioquímica, uma vez que a mesma “*engloba a capacidade de ler (entender ou compreender), bem como escrever (desenhar) representações externas, incluindo a capacidade de pensar, aprender e expressar-se em termos de imagens*”.

Algumas interpretações errôneas a respeito de biomoléculas podem estar relacionadas com problemas na visualização das mesmas. É o caso, por exemplo, das forças que mantêm as estruturas proteicas secundárias e terciárias em um equilíbrio estável. Estudo realizado por Harle e Towns (2013) com 21 estudantes do ensino superior matriculados em disciplinas de Bioquímica identificou, a partir de suas representações, que os mesmos apresentaram dificuldades em localizar as ligações de hidrogênio e quais átomos estão envolvidos na estabilização das estruturas de hélice alfa e folha beta. Os autores sugerem uma abordagem que incentive os estudantes a compartilharem seus desenhos e explicações a respeito das interações moleculares, nos pequenos e grandes grupos, ajudando na construção de seus modelos mentais e na geração de inferências.

Uma outra questão importante para a área refere-se às interações enzima-substrato. Linemberger e Bretz (2014) investigaram a compreensão de um grupo grande de estudantes universitários cursando disciplinas de bioquímica a respeito destas interações, assumindo que muitas das concepções errôneas relacionadas a esse conceito básico advêm de interpretações incorretas das múltiplas representações existentes na literatura da área. A análise dos dados gerados a partir da interpretação de figuras esquemáticas revelou uma falta de compreensão, por parte dos estudantes, com relação aos tipos de complementaridades (eletrônica, de forma e de carga) que influenciam as interações entre enzimas e substratos. Os autores destacaram, ainda, as limitações das representações 2D em detrimento das 3D, uma vez que as primeiras não oferecem informações suficientes para que os estudantes considerem alguns fatores ao analisarem as interações, como o tamanho relativo do substrato e do sítio de ligação, a profundidade do sítio, e as orientações possíveis do substrato em relação ao sítio.

Dentre os tipos de representações externas utilizadas para o ensino de ciências moleculares, destacamos os modelos táteis, que, segundo demonstrado por algumas pesquisas, facilitam o aprendizado de temas que demandam uma abstração molecular, como por exemplo, a estrutura e função de biomoléculas (Roberts, Hagedorn, Dillenburg, Patrick, & Herman, 2005; Rotbain, Marbach-Ad, & Stavy, 2006; Harris *et al.*, 2009; Höst, Larsson, Olson, & Tibell, , 2013; Carlisle, Tyson, & Nieswandt, 2015; Srivastava, 2016). Roberts *et al.* (2005), por exemplo, apontaram que um dos maiores problemas enfrentados pelos educadores que ensinavam estrutura e função de biomoléculas era a dificuldade que muitos estudantes tinham em inferir a estrutura tridimensional a partir de figuras estáticas, diagramas bidimensionais e fotos usadas em livros didáticos ou projetadas em telas nas salas de aula. E mostraram através desse trabalho que o uso de modelo táteis de proteínas aumentou a compreensão de conceitos básicos relacionados à estrutura molecular e

função de proteínas por parte dos alunos. Carlisle *et al.* (2015) verificaram uma melhora nas habilidades visuais-espaciais de um grupo de estudantes de graduação cursando a disciplina de Química Geral que participou de atividades didáticas que envolveram a construção e manipulação de modelos táteis para representações de moléculas. Esta melhora foi constatada pelo maior índice de acertos, pelo grupo experimental, em questões que envolviam a identificação de planos de simetria, a visualização em 3D, a rotação mental de moléculas, a relação da informação espacial entre as representações 2D e os modelos 3D.

Contexto da pesquisa

Desde 2009 nosso grupo de pesquisa e difusão em ciência oferece cursos sobre biologia estrutural e biotecnologia para professores e alunos do ensino médio e superior da área de ciências da natureza de diversas regiões do Estado de São Paulo e também de outros estados. Estes cursos incluem oficinas que propõem a montagem contextualizada de modelos táteis de moléculas de ácidos nucleicos e de proteínas utilizando peças plásticas que compõem os kits didáticos desenvolvidos pelo Espaço Interativo de Ciências (Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo). Nestas oficinas notamos que o processo de montagem destes modelos tridimensionais permitia uma melhor compreensão das estruturas destas moléculas bem como das relações entre as estruturas e as funções biológicas específicas. A partir destas observações, idealizamos um estudo junto a alunos do ensino superior para melhor entender como o uso de modelos táteis poderia auxiliar na representação mental das biomoléculas, particularmente proteínas, e na consequente formação do modelo mental das mesmas. Para a análise dos tipos de representações mentais que o público participante possuía, adotamos o referencial dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983), como utilizado em algumas pesquisas na área de ensino de física e biologia (Greca & Moreira, 1997; Moreira & Lagreca, 1998; Palmero, Acosta, & Moreira, 2001; Ibrahim & Rebello, 2013; Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2016). Na perspectiva do professor e pesquisador Philip Nicholas Johnson-Laird, existem três tipos de representações mentais: os modelos mentais, as representações proposicionais e as imagens. Segundo este autor, os seres humanos compreendem o mundo através da construção de modelos em suas mentes, e ele define modelo mental como uma forma de representação analógica de um objeto, fenômeno ou estado das coisas ao qual representa, formado por elementos – denominados *tokens*- e as relações entre esses elementos que representam um estado das coisas específico. Os modelos mentais “[...] permitem que indivíduos façam inferências e previsões, para compreender os fenômenos, tomar decisões e controlar sua execução” (Johnson-Laird, 1983, p. 397). Assim, compreender e saber explicar um fenômeno implica em possuir um modelo mental do mesmo. Uma representação proposicional é uma representação mental de uma proposição verbalmente exprimível. São sequências de símbolos que correspondem à língua natural, ao qual qualquer representação mental pode ser reduzida, e podem ou não fazer parte de um modelo mental. As imagens representam objetos do mundo real, são formas de se perceber o mundo. Perceber uma imagem ocorre como um processo de digitalização. “As imagens, assim como os modelos, são altamente específicas e análogas ao que representam, podendo sofrer transformações, rotações e expansões” (Johnson-Laird, op. cit.).

Neste panorama, este trabalho teve como objetivo investigar as representações mentais a respeito de proteínas, dentre treze alunos universitários de dois cursos da área de Ciências da Natureza, e a contribuição de uma sequência didática para a formação ou reelaboração destas representações.

Este objetivo geral foi desdobrado em três questões norteadoras da pesquisa:

- a. Quais representações mentais os alunos possuíam antes e após a intervenção?
- b. Como inferir sobre seus modelos mentais a partir destas representações?

c. Qual é a contribuição da sequência didática aplicada para a formação ou reelaboração das representações mentais identificadas, particularmente as da categoria modelos mentais?

METODOLOGIA

Delineamento da pesquisa

Para responder as questões norteadoras, as seguintes etapas foram estabelecidas: delimitação do público alvo, convite, aplicação de pré-teste, elaboração e aplicação da sequência didática, aplicação do pós-teste e análise dos dados.

Público alvo

Treze alunos participaram dessa pesquisa, quatro do curso de Licenciatura em Ciências Exatas (LCE) e nove do curso de Bacharelado em Ciências Físicas e Biomoleculares (CFBio), ambos oferecidos pela Universidade de São Paulo (USP). Tais cursos foram escolhidos pois a prática profissional de seus graduados pressupõe uma boa compreensão a respeito de proteínas e outras macromoléculas biológicas. O primeiro curso é noturno e forma professores de Ciências da Natureza para o ensino fundamental e médio que ensinarão o tema ao longo de sua profissão. O segundo curso é diurno e integral e forma profissionais especializados em pesquisa, análises e processos biotecnológicos relacionados às macromoléculas biológicas.

Convite

O convite para participação da pesquisa foi feito através da divulgação do curso “Proteínas: conceitos e representações”, durante as aulas regulares dos alunos, quando foi esclarecido como seria a participação dos alunos, com a garantia de que a utilização dos dados coletados (entrevistas e materiais produzidos) subordinava-se ao consentimento prévio individual e do anonimato nas publicações realizadas. Informou-se que aos alunos participantes seria oferecido um certificado de participação e que o mesmo seria considerado como uma atividade de extensão do respectivo curso de graduação. Como o número de alunos interessados não excedeu o número de vagas (10 para cada curso), todas as 13 inscrições foram aceitas.

Sequência didática

A sequência didática elaborada para o curso foi planejada para acontecer em três encontros consecutivos, com duração de três horas cada. O curso foi oferecido separadamente para os alunos dos cursos de LCE e de CFBio, e foi ministrado no ano de 2011 por M. F. Silva (coautora deste trabalho), que utilizou estratégias didáticas como atividades em grupo com a utilização de modelos pré-fabricados para a montagem de biomoléculas, intercaladas com exposições breves de conteúdos relacionados. A sequência didática teve objetivo de rever o processo da síntese proteica em uma célula eucariótica, montar modelos táteis das moléculas envolvidas, relacionar suas estruturas com as respectivas funções biológicas e aplicar os conceitos abordados na predição de um problema (possível interferência de uma mutação na estrutura e função de uma proteína). As atividades desenvolvidas na sequência didática são resumidas na Tabela 1 e alguns dos materiais didáticos utilizados são mostrados na figura 1.

Tabela 1 - Programação do curso “Proteínas: conceitos e representações”, oferecido aos alunos participantes da pesquisa.

Dias	Tópico	Material Didático	Estratégias de ensino	Objetivos	Duração
1º	Síntese proteica em uma célula eucariótica.	Jogo “Sintetizando Proteínas” (Carvalho <i>et al.</i> , 2014).	Atividade prática em grupo.	Relembrar o processo em questão e as estruturas e moléculas participantes (DNA, RNA, gene, ribossomo, aminoácidos e proteínas).	1h30
	A molécula de DNA.	Kit “Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA” (Beltramini <i>et al.</i> , 2006) (Figura 1).	Atividade em grupo para montagem e manipulação de modelos táteis tridimensionais.		1h15
2º	A molécula de RNA.	<i>Slides</i> com imagens e animação sobre o processo de tradução.	Aula expositivo-dialogada	Relembrar o processo de transcrição e tradução da síntese proteica. Construção de um modelo físico de uma molécula de RNA mensageiro.	40min
	Processos de transcrição e tradução.				15min
	Aminoácidos e estrutura	Kit “Construindo modelos de	Atividade em grupo para montagem e		Relembrar grupos funcionais dos

	primária de proteína. Estrutura secundária de proteína: folha beta.	aminoácidos e proteínas” (Silva, 2010) (Figura 1).	manipulação de modelos táteis tridimensionais.	aminoácidos, ligação peptídica, estrutura primária, secundária, terciária e quaternária de proteína, reconhecer ligações químicas intramoleculares e impedimentos estéricos.	1h20
	Estrutura secundária de proteína: hélice alfa.				1h
3º	Relação entre a estrutura e a função da proteína.	Slides com imagens e animações sobre a relação estrutura/ função.	Aula expositivo-dialogada.	Relembrar relação entre estrutura e função das proteínas, conhecer um exemplo específico como o da proteína porina.	15min
	Inserindo mutações na hélice-alfa.	Kit “Construindo modelos de aminoácidos e proteínas”.	Atividade em grupo para montagem e manipulação de modelos tridimensionais; predição de um problema.	Observar efeitos de mutações, prever e discutir modificações estruturais devido às mutações.	1h30

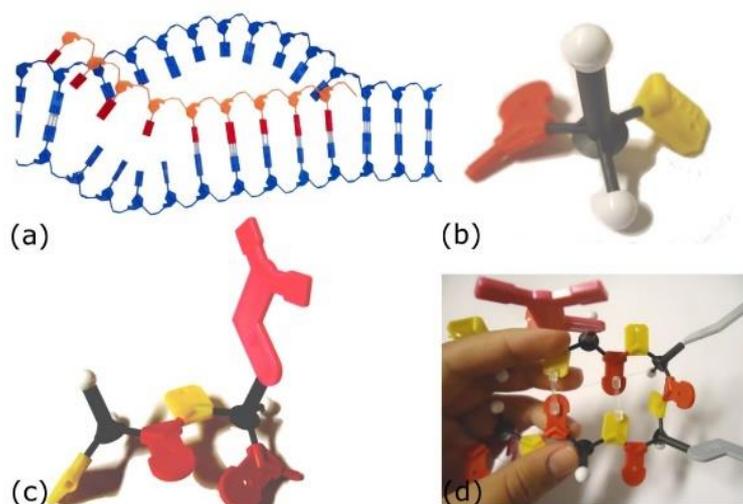


Figura 1 - Materiais didáticos utilizados no segundo dia do curso oferecido aos participantes da pesquisa. (a) Representação do processo de transcrição da molécula de RNA a partir do DNA utilizando modelos montados com o kit “Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA” (extraído de Beltramini *et al.*, 2006). Modelos montados com as peças plásticas do kit “Construindo modelos de aminoácidos e proteínas”, representando (b) o aminoácido glicina, (c) uma ligação peptídica entre dois aminoácidos e (d) uma estrutura secundária, a folha beta, de uma proteína hipotética (extraídos de Silva, 2012).

Participantes

Os participantes desta pesquisa foram nomeados pelas siglas A1 a A13, sendo seis alunos do gênero masculino e sete do feminino, com idade variando de 19 a 24 anos. No momento da intervenção os alunos A1 a A4 (dois homens e duas mulheres do curso LCE) encontravam-se no 5º semestre do curso, e haviam cursado quatro disciplinas cujo tema proteínas e/ou conceitos fundamentais a respeito de macromoléculas faziam parte de suas ementas. Os alunos A5 a A13 (quatro homens e cinco mulheres do curso CFBio) encontravam-se no 4º semestre do curso e tinham cursado cinco disciplinas que continham o tema proteínas e outras macromoléculas, abordado de forma mais aprofundada. A estratégia utilizada para ministrar a parte

teórica de todas as disciplinas mencionadas, segundo seus professores responsáveis, foi a aula expositiva ilustrada com figuras bidimensionais.

Técnicas e instrumentos de coleta de dados

Numa perspectiva qualitativa, as representações mentais dos alunos foram inferidas a partir de suas externalizações verbais, gestuais e pictóricas. Greca e Santos (2006), a respeito da coleta de dados a serem analisados sob o referencial de Johnson-Laird, propõem a utilização de instrumentos de coleta variados tendo em vista o dinamismo inerente dos modelos mentais. Uma das formas de se obter a informação desejada de forma corrente, imediata e em profundidade é através da entrevista (Lüdke & André, 1986; Gil, 1999).

Utilizamos a entrevista semiestruturada como instrumento de coleta de dados, desenvolvida a partir de um roteiro básico flexível, permitindo que o entrevistador fizesse as adaptações quando necessárias. Os entrevistados puderam se expressar da forma oral (que foi registrada em áudio), da forma escrita (dissertativa ou esquemática) ou por meio da montagem de modelos táteis utilizando materiais de baixo custo fornecidos, de acordo com o previsto nas questões formuladas (Tabela 2). Entrevistas foram realizadas com cada participante individualmente e em dois momentos: 1) uma semana antes da intervenção, com o objetivo de se levantar as representações mentais dos alunos e conceitos relativos ao tema (pré-teste) e 2) uma semana após a intervenção, para avaliar a contribuição da sequência didática proposta com relação a essas representações e também quanto ao ganho conceitual (pós-teste). Os instrumentos de coletas de dados bem como a sequência didática elaborada foram previamente testados junto a um público com perfil semelhante ao dos alunos do público alvo.

Tabela 2 - Questões do pré- e pós-teste. O tipo de resposta ou ação solicitada em cada questão (se escrita, oral, oral e/ou escrita ou montagem de modelos táteis) está indicado ao final do enunciado.

Questões do Pré-teste
1. Defina uma proteína. (escrita)
2. Represente através de esquemas ou desenhos o funcionamento de uma proteína presente, por exemplo, no organismo humano. (escrita)
3. Aqui sobre a mesa temos vários tipos de materiais de baixo custo: massa de modelar, miçanga, fio de <i>nylon</i> , barbante, palito de dente e isopor. Eu gostaria que você escolhesse um ou mais tipos de materiais e representasse um modelo de proteína com esses materiais. (montagem do modelo de proteína com materiais de baixo custo)
4. Como a proteína está organizada fisicamente? Como pode ser sua estrutura? (oral)
5. O que é um aminoácido? Quais grupos funcionais ele possui? (escrita)
6. Qual é a relação que existe entre a estrutura e a função de proteína? (oral)
7. Explique como se dá o processo de síntese de uma proteína. Se preferir pode fazer uma representação. (oral e/ou escrita)
8. Suponha que estamos trabalhando com uma proteína que se localiza na membrana, por exemplo, a membrana plasmática. Que tipo de aminoácidos você esperaria encontrar nessa proteína? Que características químicas esses aminoácidos teriam? (oral)
9. Relacione quatro palavras: proteína, gene, DNA e RNA. (escrita)
10. Em cada um desses cartões está escrito uma função das macromoléculas biológicas. Eu gostaria que você escolhesse um ou mais cartões que você acha que representa a função das proteínas e explicasse o porquê da escolha desse cartão. (Os cartões apresentados foram cinco, com as seguintes funções: Transporte, Movimentos Coordenados, Catálise, Estrutural e Sinalização) (oral)
Questões do Pós-teste
1. Explique o processo da síntese de proteínas, se preferir pode fazer uma representação. (escrita)
2. Você mudaria alguma coisa no modelo que você montou anteriormente? Como você faria? O que mudaria? (montagem do modelo de proteína com materiais de baixo custo)
3. O aminoácido é composto por quais grupos funcionais? Se você quiser, você pode fazer um desenho. (escrita)
4. Represente através de esquemas ou desenhos o funcionamento de uma proteína presente, por exemplo, no organismo humano. (escrita)

5. Durante o curso montamos vários tipos de estrutura de proteína. Você lembra quais foram? Poderia me falar? (oral)
6. Quando montamos a estrutura primária de uma proteína, você lembra como a estrutura se mantinha unida? Quais pecinhas foram utilizadas para ligar os aminoácidos? (oral)
7. Quando montamos a folha beta, como é que estavam dispostos os aminoácidos na estrutura? Você lembra que tipo de ligações ou interações mantinha esse tipo de estrutura? (oral)
8. Quando montamos a hélice alfa, você lembra como estavam dispostos os aminoácidos na estrutura? Você lembra que interações ou ligações mantinham esse tipo de estrutura? (oral)
9. Suponha que estejamos trabalhando com uma proteína que se localiza numa membrana, uma proteína formadora de poros, por exemplo, a porina. Que tipo de aminoácidos você esperaria encontrar na superfície e no canal do poro dessa proteína? Com quais características químicas? (oral)
10. Essa pergunta que eu acabei de fazer (referindo-se à questão 9), estabeleceu uma relação um pouco mais específica entre estrutura e função de uma proteína. Se você tivesse que estabelecer essa relação entre estrutura e função, de maneira mais generalizada, como você faria? (oral)

Organização e Análise dos dados

A análise qualitativa de conteúdo foi utilizada para ordenação e interpretação dos dados coletados (Franco, 2005). As respostas dos alunos às questões do pré- e pós-teste foram organizadas segundo os temas e subtemas abrangidos pelas questões, como exemplificado no Quadro 1, para então se verificar padrões ou regularidades existentes nas respostas e nos modelos construídos, de modo a se levantar a compreensão que os alunos tinham a respeito destes temas.

Quadro 1. Organização das respostas do pré-teste do aluno A1 aos temas e subtemas pré-determinados. Os números entre parênteses referem-se aos números das questões presentes nos testes e a partir das quais as respostas foram extraídas (adaptado de Silva, 2012).

TEMAS
PROTEÍNA – ESTRUTURA E SÍNTESE
Subtema: Definição/ Estrutura de proteína “Uma cadeia de aminoácidos.”(1)
Subtema: Composição/ Estrutura do aminoácido “Não sei por que, mas quando você falou isso eu me lembrei de timina, citosina... Acho que é o máximo que eu posso falar agora. ” (5)
Subtema: Síntese proteica “Eu vou chutar o que eu falei da última vez... É na célula... Como é que chama o componente celular? Ribossomo? Eu realmente não lembro se é do ribossomo, da alimentação... Não isso daí não é!”.(7)
ESTRUTURA / FUNÇÃO
Subtema: Relação entre a estrutura e a função da proteína “Estrutura? Ah... Eu acho que a estrutura da proteína altera a função dela. Se você muda os componentes, muda a estrutura, muda a função”. (6)
Subtema: Exemplo “Esse daqui, a proteína define a forma estrutural... O componente que ela forma... A membrana, o tecido... Eu acho que dependendo de onde a proteína for estar ou o que ela forma, o movimento que ela tem deve ser coordenado”. (10)
REPRESENTAÇÕES
Subtema: Funcionamento da proteína “ Se eu não me engano tem proteína no tecido muscular, não é? Eu não vou conseguir lembrar mesmo”. (2)
Subtema: Modelos construídos “ Seriam os compostos que formam a proteína né? Não sei se seriam os aminoácidos. A forma de uma proteína não é exata, ela é muito curvada, se enrola uma na outra. Eu usei o nylon para pegar a base e as bolinhas para fazer o resto. A dobra do próprio nylon pode formar ela”. (3)



Modelo tátil de proteína montado com materiais de baixo custo pelo aluno A1 referente à questão 3 dos pré-teste.

A partir dos dados organizados, buscamos identificar as representações mentais dos alunos sobre o tema geral Proteínas, classificando-os em modelizadores e não modelizadores, e nas respectivas subcategorias, conforme Moreira e Lagreca (1998) e Tauceda e Pino (2010), que utilizaram o referencial teórico de Johnson-Laird. Para esta classificação, analisamos a forma e o conteúdo da resposta dada por cada aluno durante as entrevistas: se com uso de imagens associadas ou não ao texto, se havia coerência conceitual na resposta e qual tipo de forma era dominante na entrevista (proposições, imagens ou ambas). Para efeito comparativo, esta classificação foi feita no momento anterior ao curso oferecido, por meio do pré-teste, e no momento posterior (pós-teste).

A análise e a organização dos dados produzidos pelos alunos (registros escritos, orais e modelos táteis) foram realizadas individualmente pelas duas autoras deste trabalho, num primeiro momento, e discutidas em conjunto, num segundo momento. As eventuais diferenças ocorridas entre as análises das autoras foram por elas discutidas até que se chegasse num consenso, de modo a se reduzir o viés da análise e objetivando garantir a validade interna da pesquisa (Coehn, Manion, & Morrison, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de conteúdo das respostas dos alunos ao pré- e pós-teste para identificação de suas representações mentais

Subtema “Definição e estrutura de proteína”

Ao analisar este subtema, no pré-teste notamos que três dos alunos da LCE definiram proteínas em termos de aminoácidos e/ou ligações peptídicas (A1, A3, A4) como na resposta do aluno A1 à questão 1, que descreveu uma proteína como uma “cadeia de aminoácidos”. A aluna A2 definiu proteína como “uma macromolécula que dá manutenção para o organismo”; essa definição é generalizada e se aproxima mais do senso comum que propriamente de conceitos científicos. A tendência em definir proteína de forma genérica, em termos de sua estrutura ou em termo de sua função também foi observada por Carvalho, Couto e Bossolan (2012), ao analisarem as respostas dadas por alunos do ensino médio de escolas públicas e particulares quando lhes foi solicitado que definissem proteína.

No grupo dos alunos da CFBio, notamos que a maioria deles (A5, A9, A10, A11, A12) no pré-teste também definiu proteínas em termos de aminoácidos e/ou ligações peptídicas, como podemos notar em trecho da resposta escrita do aluno A9: “composto de aminoácidos ligados por ligações peptídicas”. As definições dos alunos A7, A8 e A13 sobre proteínas apresentaram uma definição do tipo estrutural, complementando as respostas dadas com informações sobre o enovelamento da proteína, como pode ser observado na resposta do aluno A7.

“Uma proteína é um polipeptídeo, cujos constituintes básicos são os aminoácidos. [...] Há ainda a estrutura secundária com as fitas β e hélices α e a estrutura terciária é a proteína enovelada, temos também estruturas quaternárias, que são como arranjos de estrutura terciária”. [A7]

No pós-teste não foi feita uma questão direta que solicitasse uma definição de proteína, como feita no pré-teste (questão 1), e por isso procuramos inferir a respeito da evolução deste conceito entre os alunos

a partir dos modelos montados em resposta à questão 2, que será discutido adiante na seção “Modelos táteis construídos com materiais de baixo custo”.

Com relação à estrutura da proteína, apresentamos a seguir uma análise comparativa entre as respostas à questão 4 do pré-teste e as respostas às questões 5 a 8 do pós-teste, que trataram deste tópico.

No pré-teste, os alunos da LCE foram breves em suas respostas. Dois alunos referiram-se à estrutura da proteína indicando uma forma espiralada (A3, desenhando) ou então como algo “...*bem enrolada em si mesma, no formato que precisa, de acordo com sua característica*” (A1). O aluno A4 relacionou a estrutura linear à primária, uma espiral à estrutura secundária e várias espirais à estrutura terciária; ele também mencionou os possíveis caracteres químicos das cadeias laterais (polar a apolar). Os alunos da CFBio A5, A6, A8 e A9 indicaram os tipos de estruturas proteicas possíveis (primária, secundária e/ou terciária), sendo que A6 e A9 mencionaram a ligação peptídica na estrutura primária e as ligações de hidrogênio para manutenção da estrutura secundária, ainda que de modo não muito seguro, conforme trechos a seguir.

“... Entre a estrutura primária, ia ser as ligações peptídicas. Aí depois tem ligações de hidrogênio, pode ter pontes dissulfeto. E pode ser que tenha um íon no meio da proteína pra estabilizar as cargas e isso pode ajudar na estrutura também, seria força iônica, dipolo. Acho que mais pontes de hidrogênio entre uma estrutura secundária, por exemplo, entre a hélice ou entre as folhas, ou só enrolamento mesmo. É mais ponte de hidrogênio e dissulfeto”. [A6]

“Acho que pelas ligações peptídicas, entre os aminoácidos... isso na primária. Na secundária os aminoácidos vão se retorcer um pouquinho pra fazer a hélice alfa, com as ligações de hidrogênio né? Agora na terciária eu não lembro...”. [A9]

Os alunos A12 e A13 relacionaram a organização da estrutura proteica ao caráter hidrofílico / hidrofóbico das cadeias laterais, conforme os transcritos a seguir.

“Qualquer proteína genérica? Consiste num meio aquoso? Você teria as regiões hidrofóbicas preferencialmente no meio, não é? ... e as hidrofílicas na superfície, preferencialmente... Pra ela ter função ela tem que estar na estrutura terciária”. [A12]

“Ela se organiza de forma a privilegiar interações hidrofóbicas entre as partes hidrofóbicas, escondendo do meio aquoso por exemplo, ou o contrário caso ela seja uma proteína de membrana, ela tenta deixar a parte hidrofílica no interior e a parte hidrofóbica em contato com a membrana e de acordo com isso ela vai se espiralando, se enovelando”. [A13]

No pós-teste, os alunos da LCE A1, A2 e A3 indicaram as ligações de hidrogênio como responsáveis pela manutenção da estrutura secundária, porém sem explicitar quais elementos químicos formavam as ligações ou a localização dos aminoácidos envolvidos. O aluno A4 forneceu mais detalhes com relação às ligações peptídicas na estrutura primária (em resposta à questão 6) e ligações de hidrogênio na estrutura secundária (em resposta à questão 8), conforme trechos a seguir.

“Sempre era através de uma ligação ácido-base, se ligava a parte ácida do aminoácido que era a carboxila, com a parte básica do outro aminoácido, que era a amina. Estava sempre ligado por aí, carboxila-amina, carboxila-amina...”. [A4, Q6]

“É... Os aminoácidos, eles estavam... Se você fosse imaginar um eixo vertical assim, eles estavam contornando esse eixo, formando um espiral mesmo, e todos os radicais, os grupamentos diferentes dos aminoácidos estavam sempre apontando para fora desse espiral... (gesticulando). A ponta que tinha o radical era sempre pra fora né? Dando a volta assim (gesticulando). Também era ponte de hidrogênio, se você imaginar no eixo vertical um espiral subindo, era uma ponte de hidrogênio que ligava um aminoácido tal com um aminoácido da volta debaixo (gesticulando), sempre ligando com a espiral debaixo, com a volta debaixo”. [A4, Q8]

Os alunos da CFBio, nas repostas dadas às questões 7 e 8 do pós-teste, apresentaram explicações mais consistentes que as apresentadas no pré-teste, com relação às interações responsáveis pela

manutenção da estrutura secundária, recuperando as informações e lembranças da atividade prática na qual foram montadas estruturas primárias e secundárias proteicas utilizando-se as peças plásticas do kit pré-fabricado. As ligações de hidrogênio ocorrentes entre aminoácidos de diferentes posições em uma hélice-alfa ou entre aminoácidos de fitas paralelas em uma folha beta foram mencionadas, bem como a orientação das cadeias laterais nestas estruturas. A estrutura planar e rígida da ligação peptídica, bem representada pelas peças do kit, também foi lembrada, favorecendo a compreensão da limitação estereoquímica imposta por esta ligação na estrutura geral da molécula. A seguir são apresentadas algumas das respostas que confirmam estas observações.

“As cadeias laterais deles estavam ou para cima, ou para baixo. E naquele plano ali da fita, vai formar pontes de hidrogênio entre a parte amino terminal e carbono terminal de um e de outro aminoácido. Então no plano tem as ligações de carbono, e pra cima ou pra baixo as cadeias laterais... De hidrogênio. E no dobramento lá (querendo dizer a volta entre duas fitas beta), eu lembro que tinha um aminoácido específico que era prolina acho”. [A5, Q7]

“Como era uma folha beta pregueada ela tinha os radicais (cadeias laterais) dos aminoácidos um para cima e no outro seguinte para baixo, era invertido, um depois do outro. Por isso que chama pregueada. E elas eram planares. Não a estrutura em si, mas tinha uma forma planar... Eram pontes de hidrogênio, ligações de hidrogênio (que mantinham a estrutura em hélice-alfa)”. [A7, Q7]

“A gente estava organizando uma amina pra cima e uma carboxila pra baixo (gesticulando), daí fazia a ligação do primeiro (aminoácido) com o quinto, em sentido horário, com uma ligação de hidrogênio, daí ia rodando e ligando.” [A9, Q8]

“Sim... A gente pegava a ponta N terminal, virando ela positivamente né? (utilizando a mão direita para gesticular) aí pegava o oxigênio da carbonila e ligava no grupo amino do quinto aminoácido. Aí quando você fazia isso, naturalmente se ajustava, aí você conseguia fazer a ligação de todos os outros aminoácidos... As ligações de hidrogênio”. [A12, Q8]

“Com a cadeia linear... Os grupos R estavam voltados pra fora, e a ligação peptídica no sentido de crescimento da hélice-alfa. Ela ocorre na estrutura helicoidal e as pontes de hidrogênio ocorrem entre um grupo amino e um grupo carboxil de voltas consecutivas... Eram pontes de hidrogênio entre as voltas consecutivas”. [A13, Q8].

Subtema “Composição e estrutura do aminoácido”

Os alunos da LCE A1 e A2, no pré-teste, confundiram aminoácidos com ácidos nucleicos e os alunos A3 e A4 não souberam definir com clareza os grupos funcionais dessa molécula. O aluno A4, por exemplo, em sua fala, demonstrou conhecer a estrutura do aminoácido, porém indicou erroneamente que qualquer grupamento orgânico poderia ser a cadeia lateral deste monômero.

“Ah... O aminoácido é um monômero da proteína, e ele tem um grupo carboxila ligado nele, que é um grupo ácido, né? ...normalmente um hidrogênio na terceira valência dele no carbono e a quarta valência livre é qualquer grupamento orgânico que pode diferenciar os aminoácidos um do outro”. [A4]

No pós-teste deste grupo, observamos que a confusão entre aminoácidos e nucleotídeos de DNA havia sido superada; os alunos A1 e A4 conseguiram representar corretamente o aminoácido, fosse através da fórmula estrutural desenhada ou de resposta escrita, como podemos notar nos desenhos feitos pelos alunos A1 e A4 (Figura 2) ao responderem a questão 3 (Tabela 2). A aluno A1 fez um desenho (figura 2a) no qual ressaltou a estrutura piramidal do aminoácido, a amina desprotonada (NH_2), a carboxila (COOH) protonada, o hidrogênio e o radical ligados ao carbono α . Por comparação com o modelo de aminoácido utilizado durante a intervenção (figura 2c), o desenho indica uma evidência de que o aluno possa ter se apropriado do modelo utilizado na intervenção para compor seu modelo mental externalizado no desenho apresentado. Acrescenta-se que o aluno não só superou a confusão entre nucleotídeos e aminoácidos como

também internalizou a representação de um aminoácido de forma mais próxima ao modelo cientificamente aceito, representando, localizando e nomeando os grupos funcionais que o compõe.

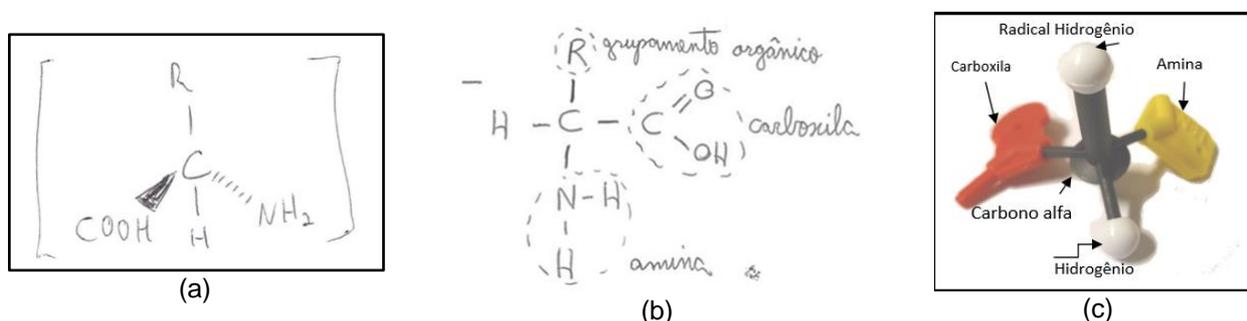


Figura 2 – Desenhos feitos pelos alunos A1 (a) e A4 (b) em resposta à questão 3 do pós-teste. (c) Modelo tátil de aminoácido utilizado durante a intervenção (extraído de Silva, 2012).

No pré-teste do grupo dos alunos da CFBio, o aluno A6 também confundiu aminoácidos com ácidos nucléicos e a maioria dos alunos (A5, A7, A8, A9, A11, A12 e A13) não soube definir com clareza os grupos funcionais dessa molécula. Já no pós-teste, a confusão entre aminoácidos e nucleotídeos de DNA foi superada pelo aluno A6, como evidenciado na sua fala - “Um aminoácido é composto por um grupo amino, grupo carboxílico e uma cadeia lateral que diferenciara e caracterizará um aminoácido do outro”. Os demais alunos conseguiram representar corretamente o aminoácido, fosse através do desenho de sua fórmula estrutural ou de resposta escrita.

Subtema “Relação estrutura/função de proteínas”

Na análise deste subtema, as respostas dos alunos da LCE no pré-teste evidenciaram que eles não sabiam e/ou não tinham bem definidas as relações existentes entre estrutura e função das proteínas. Os alunos A1 e A2 associaram a proteína apenas à função estrutural desta macromolécula, dando como exemplo sua presença em tecidos ou na carne. A aluna A3 fez um desenho para representar como ela imaginava que as proteínas estavam organizadas fisicamente, porém não foi capaz de estabelecer alguma relação entre estrutura e a função da proteína: “Essa daí (referindo-se ao desenho da Figura 3) tem a relação de estrutura, estrutura é... Ah, eu sabia mas me fugiu da cabeça, não lembro”.

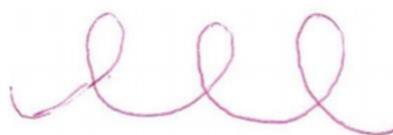


Figura 3 - Desenho feito pela aluna A3 em resposta à questão 4 do pré-teste (extraído de Silva, 2012).

O aluno A4 considerou várias funções de proteína, mas pareceu não ter bem definido o conceito de estrutura primária e secundária. No pós-teste desse grupo, com exceção das alunas A2 e A3, que não conseguiram relacionar com clareza a estrutura de uma proteína à sua função, os alunos A1 e A4 conseguiram estabelecer relações entre as propriedades químicas dos aminoácidos e a estrutura da proteína, como podemos notar na fala do aluno A4 em resposta à pergunta 9 do pós-teste, quando relacionou a polaridade dos resíduos de aminoácidos à estrutura de uma proteína de membrana plasmática.

“Como dentro da célula e fora da célula é um meio hidrofílico, né, um meio aquoso, nessas regiões teria que ter aminoácidos com radical polar, voltado para fora, pra interagir bem com o meio aquoso, [...] na membrana celular que é de lipídio e fosfolipídio, estaria numa região apolar, então teria que ser aminoácidos apolares, pra interagir bem com essa região”. [A4]

No pré-teste dos alunos da CFBio, a aluna A5 listou algumas funções das proteínas, mas parecia não ter bem definido o conceito de estrutura primária e secundária. Os alunos A6, A7, A9 e A10 relacionaram a função da proteína apenas ao formato da mesma, evidenciando a utilização do modelo chave-fechadura. O aluno A13 não relacionou nenhuma função à estrutura da proteína e os alunos A8, A11, A12 conseguiram estabelecer alguma relação entre as interações e/ou propriedades químicas dos aminoácidos e a função das proteínas. No pós-teste, os alunos A8 e A11 mantiveram a relação estabelecida no pré-teste. Os demais alunos (A5, A6, A7 A9, A10, A12 e A13) forneceram explicações mais elaboradas e corretas sobre a relação entre a polaridade dos resíduos expostos e a função da proteína (no caso, por uma proteína de membrana), como pode ser observado nos trechos abaixo transcritos retirados das respostas orais à questão 9 do pós-teste

“Na superfície que interage com a membrana, hidrofóbico. Ela vai se enovelar de tal forma que a parte hidrofóbica vai se voltar pra fora e a parte hidrofílica vai estar voltada para o centro do canal, o que vai permitir a passagem de substâncias hidrofílicas”. [A5]

“Na superfície em contato com a membrana eu esperaria encontrar aminoácidos hidrofóbicos. Até porque senão ia ter uma repulsão e ela não ia ficar estabilizada. No poro eu ia esperar aminoácidos carregados, para fazer interações com a água, deixar ela passar”. [A7]

“Predominantemente seria os hidrofílicos, porque vai ser o canal de passagem, de facilitação da água, ou de substâncias aquosas. E por dentro, como a camada da membrana é mais hidrofóbica, por causa dos fosfolipídios, da bicamada lipídica, ela seria predominantemente hidrofóbica, pra poder se manter”. [A9]

“A superfície é a que tá em contato com a membrana? Então, principalmente caráter apolar né?. Se não ela não consegue ficar mergulhada na membrana. Agora, no interior eu imagino que tem que polar né?. Porque como vou precisar de um canal iônico, vai passar íons, então eles têm que ter uma interação, ele tem que interagir com íons e não com moléculas apolares”. [A12]

Desenhos

Considerando os desenhos feitos pelos alunos do grupo da LCE no pré-teste sobre o funcionamento de uma proteína, em resposta à questão 2, os alunos A1, A2, A3 apresentaram desenhos desconectados com suas falas e escritos ou então não desenharam o que foi solicitado. No pós-teste, as alunas A2 e A3 apresentaram desenhos ainda desconexos, o aluno A4 manteve o desenho do pré-teste e o aluno A1 apresentou desenhos estáticos.

No pré-teste do grupo da CFBio, os alunos A5, A6 e A10 apresentaram desenhos desconexos ou não desenharam o que foi solicitado. O desenho apresentado pela aluna A5 (Figura 4a) para explicar o funcionamento de uma proteína não evidencia como a mesma funciona, mostra apenas uma interação entre duas moléculas, sendo uma delas considerada pela aluna como proteína de membrana. Os alunos A7, A9, A12 e A13 apresentaram desenhos do tipo estático, ou seja, que não fornecem a noção de processo, diferentemente dos alunos A8 e A11, que apresentaram desenhos do tipo processual (Figura 4b). No pós-teste desse grupo, os alunos A9, A11, A12 e A13 mantiveram o desenho do pré-teste, os alunos A5, A6 e A10 apresentaram desenhos estáticos e o aluno A7 apresentou um desenho do tipo processual.

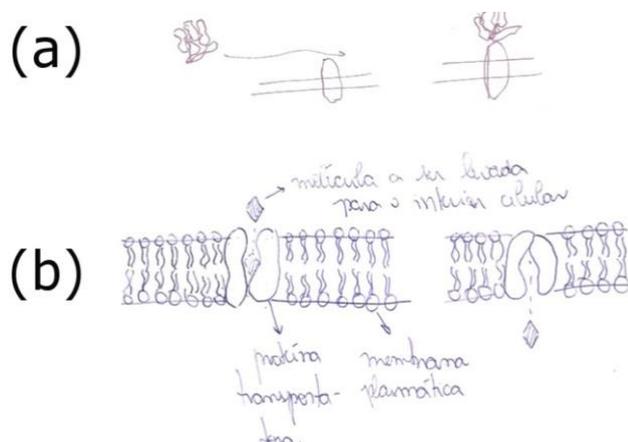


Figura 4 - Desenhos feitos pelos alunos A5 (a) e A8 (b) em resposta à questão 2 do pré-teste, para representar o funcionamento de uma proteína (adaptado de Silva, 2012).

Modelos táteis construídos com materiais de baixo custo

Os modelos montados pelos alunos da LCE no pré-teste foram do tipo colar de contas (alunos A1 e A3); de torção aleatória (aluno A2), caracterizado por um modelo tridimensional em massa de modelar sem estrutura definida; e de tipos variados para representar modos de enovelamento e/ou estrutura (aluno A4).

A Figura 5a mostra o modelo montado pelo aluno A1, que durante a montagem explica o uso das miçangas:

“[...] seriam os compostos que formam a proteína, né? Não sei se seriam os aminoácidos. A forma de uma proteína não é exata, ela é muito curvada, se enrola uma na outra. Eu usei o nylon como base e as bolinhas para fazer o resto.”. [A1]

Neste grupo, apenas o aluno A4 montou o modelo de aminoácido de forma correta (Figura 6a), considerando a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono alfa. No pós-teste, os alunos A1 (Figura 5b) e A3 montaram um modelo tridimensional de estrutura secundária e os alunos A2 e A4 montaram mais de um tipo de modelo, mostrando diferentes níveis de enovelamento de uma proteína.



Figura 5 - Modelos táteis de proteína montados pelo aluno A1: (a) modelo apresentando um enovelamento aleatório, montado em resposta à questão 3 do pré-teste; (b) modelo reorganizado, formando uma folha beta, em resposta à questão 2 do pós-teste (adaptado de Silva, 2012).

No pré-teste do grupo da CFBio, os alunos A9 e A10 (Figura 6b) montaram modelos do tipo torção aleatória. Os alunos A5, A6, A7, A12 e A13 montaram mais de um tipo de modelo para representar os tipos de enovelamento e/ou estrutura. Os alunos A8 e A11 montaram um modelo caracterizado por miçangas e palitos dispostos sobre a mesa; as bolinhas representavam um átomo representativo de cada grupo funcional e o palito/massinha, a ligação entre eles.

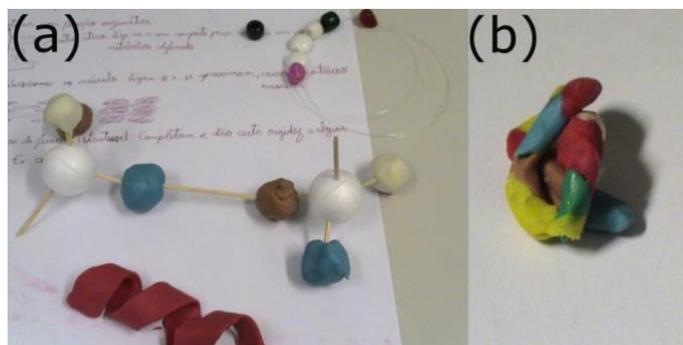


Figura 6 - Modelos táteis de proteína montados pelos alunos A4 (a) e A10 (b) em resposta à questão 3 do pré-teste (adaptado de Silva, 2012).

No pós-teste, os alunos A5, A8 e A13 montaram mais de um tipo de modelo, mostrando diferentes níveis de enovelamento de uma proteína. A aluna A6 montou apenas o modelo tridimensional de hélice alfa e os alunos A7 e A11 mantiveram a mesma montagem do pré-teste. O aluno A12 também manteve as montagens do pré-teste e adicionou um modelo tridimensional em massa de modelar do aminoácido, feito de forma correta e respeitando a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono central. Nenhum aluno repetiu a montagem do tipo torção aleatória observada no pré-teste.

Destacamos os modelos e explicações apresentados pelo aluno A13, que incorporou em seu modelo alguns conceitos discutidos e representados na sequência didática, como carga elétrica dos aminoácidos e posição das cadeias laterais nas estruturas secundárias. Este aluno, no pré-teste, montou um modelo do tipo “colar de contas” em que ele apenas escolheu cores diferentes para representar aminoácidos diferentes (Figura 7a). No pós-teste, o aluno montou dois modelos, sendo o primeiro montado com massinha, onde uma cor representava os aminoácidos polares e outra cor, os apolares, em uma estrutura primária (Figura 7b). Posteriormente, o aluno moldou esta estrutura primária de forma que os aminoácidos polares ficassem próximos entre si, assim como os apolares perto de apolares. No segundo modelo, o aluno montou uma folha beta em massinha, representando as cadeias laterais com palitos de dente e mantendo os ângulos entre os aminoácidos, modelo esse que mostrou similaridade ao modelo montado durante a sequência didática com o kit de aminoácidos (Figura 7c).



(a)



(b)



(c)

Figura 7 - Modelos táteis de proteína montados pelo aluno A13. Pré-teste (em resposta à questão 3): (a) modelo colar de contas apresentando um enovelamento aleatório. Pós-teste (em resposta à questão 2): (b) modelo representando uma estrutura primária, indicando cores diferentes para o caráter polar ou apolar do aminoácido; (c) estrutura secundária de proteína, folha beta (adaptado de Silva, 2012).

De modo geral, observamos que os modelos táteis de proteína montados pelos alunos no pós-teste eram mais complexos, alguns dos quais representando interações em nível molecular e atômico, e apresentavam muitos dos conceitos que foram explicados durante as atividades práticas. Além disso, o fato de os alunos não terem optado pela montagem de modelos de torção aleatória no pós-teste pode ser um

indicativo da consolidação do aprendizado da organização estrutural das proteínas trabalhadas no decorrer do curso. Um ganho conceitual associado ao uso de modelos moleculares táteis também foi observado por Jittivadhna, Ruenwongsa e Panijpan (2010), ao utilizarem modelos moleculares de DNA e de proteína junto a alunos do ensino médio e do ensino superior. Os autores concluíram que o uso dos modelos proporcionou um aumento na compreensão das interações que ocorrem entre as cadeias laterais dos aminoácidos em polipeptídeos helicoidais e daquelas com as bases nitrogenadas de ácidos nucleicos, por exemplo. Além disso, verificaram que os alunos apontaram os modelos táteis como facilitadores do aprendizado.

Categorização dos alunos em modelizadores e não modelizadores e nas respectivas subcategorias

A Tabela 3 apresenta os resultados da classificação dos alunos em modelizadores e não modelizadores e nas suas respectivas subcategorias, baseadas nas suas respostas aos pré- e pós-teste.

Tabela 3 - Caracterização das subcategorias utilizadas para classificar os alunos participantes da pesquisa, baseada nas suas respostas aos pré- e pós-teste.

Classificação		Perfis dos alunos para cada subcategoria	Pré-teste		Pós-teste	
			LCE	CFBio	LCE	CFBio
			Não Modelizador	P	Definiram proteína de forma superficial, apresentaram palavras isoladas e poucos desenhos, em alguns casos, eles próprios não conseguiram explicar o que significavam.	A1, A3
	I	Optaram por fazer desenhos sempre que possível, mas não conseguiram explicar o que foi desenhado ou o desenho não estava integrado com a resposta.	A2	-	A2	-
	H	Utilizaram tanto desenhos quanto textos, porém sem muita coerência entre si.	-	A5	A3	-
Modelizador	MP	Quando tinham opção de escolha, expressavam-se utilizando textos, esquemas compostos basicamente por palavras ou desenhos com textos atrelados a eles, no sentido de que o desenho ilustrava o que era explicado no texto.	A4	A6, A12	A4	A8, A9, A10, A11, A12, A13
	MI	Os alunos utilizaram, mesmo quando não solicitado, desenhos. Alguns desenhos continham legendas e palavras atreladas, porém o significado da resposta se centrava no desenho e não no texto. Alguns dos desenhos apresentados eram do tipo processual, ou seja, representavam etapas do processo biológico a ser explicado.	-	A7, A11, A13	A1	A5, A6, A7
	MH	Utilizaram tanto desenhos representando processos, quanto textos, mostrando coerência em ambos os tipos de externalizações.	-	A8	-	-

Legenda: P: Proposicionalista; I: Imagístico; H: Híbrido; MP: Modelizador Proposicionalista; MI: Modelizador Imagístico; MH: Modelizador Híbrido.

Os alunos não modelizadores são aqui entendidos por não conseguirem relacionar conceitos sobre proteínas com seus modelos táteis, além de apresentarem respostas curtas, superficiais e desconectadas com seus desenhos/esquemas. Seus modelos táteis de proteína caracterizaram-se pelo modelo colar de contas ou dobramentos aleatórios, dando indícios de que poderiam não ter os conceitos biológicos bem estabelecidos e articulados sobre esse tema ou até de terem evocado imagens vistas anteriormente. Os alunos modelizadores foram capazes de relacionar os conceitos com seus modelos táteis de proteína, que

predominantemente foram topológicos de estrutura secundária, mais ricos em detalhes do que os modelos montados pelos alunos não modelizadores. Seus desenhos, quando presentes, estavam integrados a proposições conceituais ou processuais. Para subcategorizar as representações mentais dos alunos, analisamos as questões 1, 2, 7 e 9 do pré-teste e as questões 1, 3 e 4 do pós-teste. Tais questões não pediam obrigatoriamente o uso de desenhos ou esquemas, e por esse motivo, foram utilizadas a recorrência e os tipos de desenhos ou esquemas utilizados, considerando qual a opção utilizada pelo aluno na resposta.

Observamos no grupo dos alunos da LCE que o aluno A1 passou de não modelizador para modelizador imagístico, e que apesar das alunas A2 e A3 terem permanecido como não modelizadoras, ao se comparar suas respostas no pré- e pós-teste, notamos que elas adquiriram vocabulário e apresentaram melhora em seus modelos táteis feitos com materiais de baixo custo, porém não o fizeram de forma integrada com os conceitos, o que não as colocou na categoria de modelizadores. No grupo da CFBio os alunos A5, A9 e A10, que no pré-teste foram classificados como não modelizadores, passaram a ser classificados no pós-teste como modelizadores e os que já eram modelizadores no pré-teste (A4, A6, A7, A8, A11, A12 e A13), mantiveram-se nessa categoria.

A modificação nas ideias dos estudantes numa direção mais próxima da correta foi mais perceptível naqueles que mudaram da categoria de não modelizador para modelizador. Tomando a aluna A5 como exemplo, que ao final foi classificada como modelizadora (do tipo imagística), ao representar o funcionamento de uma proteína (em resposta à questão 4 do pós-teste), a aluna usou como recurso um esquema associado de explicações (proposições) detalhadas e conceitualmente mais corretas (figura 8b), em comparação à resposta dada à mesma questão no pré-teste (figura 4a).

Dentre os alunos que se mantiveram como modelizadores, notamos que suas representações esquemáticas ou modelos montados continham mais detalhes ou explicações em nível molecular. Como exemplo, destacamos o aluno A12. Ao responder a questão 4 do pós-teste, o aluno apresentou um desenho do funcionamento de uma proteína de canal, com um pequeno texto explicativo, ressaltando as interações em nível molecular (figura 9), diferentemente da representação feita no pré-teste.

Para Moreira e Lagreca (1998), em estudo sobre representações mentais de alunos em mecânica clássica sob o referencial de Johnson-Laird, os modelizadores “*dão evidência de uma aprendizagem mais significativa, formam modelos mentais mais elaborados, com algum poder explicativo e preditivo, e com alguma congruência com o conhecimento cientificamente aceito*”. Já os alunos não modelizadores não dão indícios dessa aprendizagem significativa, ou seja, não conseguem explicar, prever, e transferir seu conhecimento.



A aluna fez o desenho de uma proteína de transporte associada a membrana, em uma representação do tipo estática, seguida da explicação oral: “*A intenção era desenhar um poro formado por várias hélices alfa sabe, elas interagem, tem a interação dentro (do poro formado), mas elas vão interagir lateralmente também (com a membrana). E aqui tem a hélice interligada uma a outra, então a intenção era essa. Um poro formado por hélices alfa que tem função... de transporte.*”

Figura 8 – Esquema e explicação dada pela aluna A5 em resposta à questão 4 do pós-teste, ao representar o funcionamento de uma proteína. Adaptado de Silva, 2012.

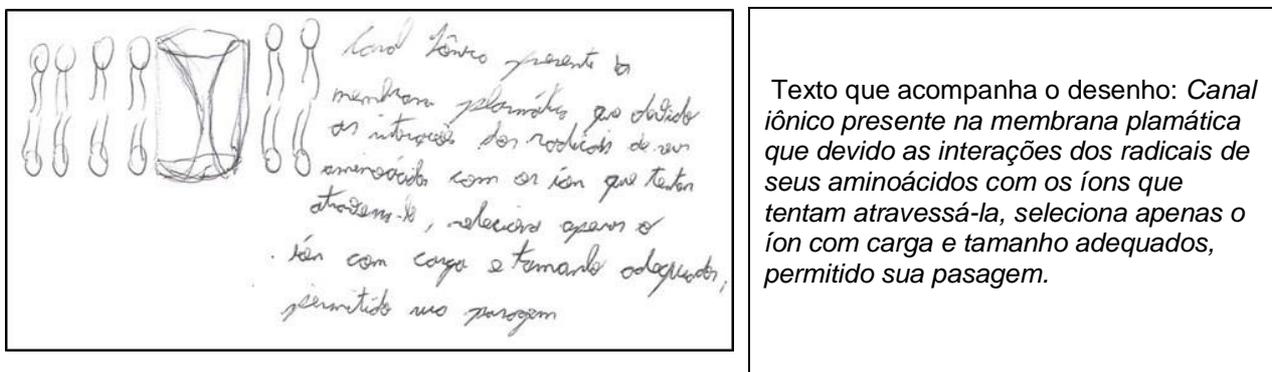


Figura 9 – Esquema e explicação dada pelo aluno A12 em resposta à questão 4 do pós-teste, ao representar o funcionamento de uma proteína. Adaptado de Silva, 2012.

Dentre os alunos considerados modelizadores no pós-teste, sete alunos foram classificados como modelizadores proposicionalistas e quatro como modelizadores imagísticos. Em pesquisa realizada por Lagreca e Moreira (1999), que investigou os tipos de representações mentais utilizadas por alunos do ensino superior na disciplina de Física Geral, os autores destacaram que, dentre um grupo de 13 alunos acompanhados, aqueles classificados como modelizadores imagísticos (4 alunos) resolviam bem os problemas colocados e conseguiam explicar e prever corretamente as situações físicas apresentadas. No presente trabalho, a distinção entre os tipos modelizadores proposicionalistas e modelizadores imagísticos residiu principalmente na forma de representação dos conceitos e não complexidade ou correção das repostas.

Tauceda e Pino (2010) realizaram pesquisa sobre modelos e representações mentais no estudo de DNA em alunos do ensino médio, sob o referencial de Johnson-Laird, e verificaram uma tendência na produção de representações externas com características proposicionais, que poderia ser explicada pelo fato das atividades escolares priorizarem tarefas “com representações simbólicas (números e letras), mais abstratas, em detrimento de atividades pictóricas, que seriam mais concretas”.

Contribuição da sequência didática para a formação ou reelaboração das representações mentais identificadas

Um modo de avaliar a contribuição da sequência didática na construção das representações foi o de identificar nos registros orais e escritos dos alunos os momentos em que eles recorreram às atividades realizadas ou recursos utilizados. Destacaremos aqui a contribuição do kit de peças plásticas representativas dos aminoácidos, material utilizado para a montagem e compreensão da conformação espacial das estruturas primárias e secundárias de proteínas, bem como para a predição de um problema. Usaremos as falas da aluna A9 como exemplo. No pré-teste, esta aluna, ao responder a questão 3, apresentou um modelo tátil em massinha, que ela mesma chamou de “tubinhos enrolados” (Figura 10a); no pós-teste, ao responder se mudaria algo no modelo de massinha montado anteriormente, a aluna montou um novo modelo de aminoácido (Figura 10b) adicionado da seguinte fala:

“Isso aqui (referindo-se ao modelo montado por ela no pré-teste, conforme Figura 10a) eu tinha visualizado aquele formato da proteína terciária, como a gente vê nos livros, só tubinhos. Agora, pra fazer uma proteína melhorzinha mesmo, teria que ser como a gente viu lá (referindo-se à atividade da sequência didática). ...o rosinha seria o hidrogênio, o branco seria o radical, o azulzinho seria a carboxila, fazendo o aminoácido levógero, e o vermelhinho vai ser a amina, né? Daí fazendo vários desses aminoácidos ... prá montar uma cadeia primária. Depois girar em sentido horário, pra fazer a hélice alfa ou então ir dobrando pra fazer a folha beta... ”. [A9]

Nesse trecho, a aluna sugere que as atividades que envolveram o material didático utilizado no curso ajudaram-na a representar o aminoácido e as estruturas secundárias (folha beta e hélice alfa) de forma mais próxima às representações cientificamente aceitas.

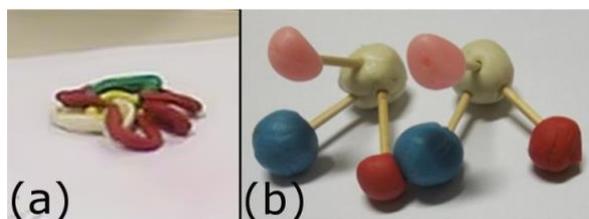


Figura 10 - Modelos táteis montados pela aluna A9. (a) Modelo em forma de “tubos enrolados”, em resposta à questão 3 do pré-teste. (b) Modelo representando os aminoácidos e a ligação entre eles, em resposta à questão 2 do pós-teste (adaptado de Silva, 2012).

No tópico do curso Inserindo Mutações na hélice-alfa utilizou-se o kit de aminoácidos em uma atividade que propunha a montagem de uma hélice alfa de uma hemoglobina e a montagem da mesma sequência, porém com a inserção de uma mutação no meio da cadeia primária pela substituição de três aminoácidos por três prolina (hemoglobina ‘mutante’). Na fala da aluna A9 no pós-teste, ao responder sobre a relação estrutura/função de proteína (questão 10 pós-teste), percebe-se que esta atividade a ajudou a entender como as cadeias laterais e sua disposição no espaço interferem na estrutura de uma proteína.

“Por exemplo, a mioglobina: a função dela é determinada pela estrutura terciária, ali que ela vai ‘ligar’ com o oxigênio e vai armazenar. Se mudar algum aminoácido, se uma ‘querida’ prolina estiver ali no meio (risos), se algum aminoácido for mudado, ela já não vai ter mais a conformação correta, altera a estrutura secundária e consequentemente a terciária”. [A9]

Podemos concluir que o uso deste material, no contexto das atividades que estava inserido, (a) colaborou para a percepção espacial das moléculas proteicas, (b) permitiu visualizar quais partes da molécula interagem para a manutenção da sua conformação preferencial e (c) permitiu observar modificações estruturais a partir de mutações, prevendo a possível perda funcional da molécula. Estes achados corroboram os de outros pesquisadores que também avaliaram o uso de modelos táteis para o ensino e aprendizagem de proteínas (Roberts *et al.*, 2005; Harris *et al.*, 2009; Jittivadhna, Ruenwongsa, & Panijpan, 2010) e de outras biomoléculas (Höst *et al.*, 2013; Srivastava, 2016), devendo o uso deste tipo de recurso didático ser estimulado junto às disciplinas de cursos de nível superior que formam profissionais das áreas envolvidas.

Considerações finais

Os tipos de representações mentais dos alunos sobre proteínas levantados nas entrevistas do pré- e pós-teste permitiram a classificação dos alunos entre modelizadores e não modelizadores e as respectivas subcategorias pretendidas. Após a intervenção que utilizou modelos táteis e outros recursos, notamos que o número de alunos considerados modelizadores passou de sete para onze alunos. Nos dois alunos que se mantiveram como não modelizadores, observamos ganhos com relação ao vocabulário e melhora nas montagens dos modelos táteis com materiais de baixo custo.

O bom nível de conhecimento com relação a determinados conceitos e o número maior de alunos classificados como modelizadores observados entre os alunos do curso CFBio, quando comparados com os alunos da LCE, pode ser explicado, em parte, pela maior ocorrência de conteúdos curriculares sobre o tema proteínas nas disciplinas da CFBio.

As estratégias e recursos didáticos utilizados na sequência didática oferecida auxiliaram (a) no estabelecimento de relações entre as propriedades químicas dos aminoácidos e a estrutura da proteína, superando a ideia que somente o formato influencia na função da proteína (modelo chave-fechadura); (b) na identificação dos diferentes níveis de enovelamento de estruturas de proteína e nas interações moleculares que mantêm a conformação destas estruturas; (c) na construção de modelos táteis de proteína mais complexos e sofisticados, envolvendo mais conceitos na montagem e explicação do modelo e (d) na previsão de perda funcional da proteína a partir de alterações em sua estrutura. Três ou mais destes aspectos foram observados nas representações dos alunos classificados como modelizadores (proposicionais ou imagísticos) no pós-teste, podendo-se assumir que contribuíram para a ampliação ou formação dos modelos mentais a respeito da estrutura e funcionamento de uma proteína, condizentes com os modelos científicos.

Agradecimentos

Aos alunos e professores participantes desta pesquisa; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo 2011/04537-3), pela concessão das bolsas à autora M.F. Silva; à Prof. Dra. Leila Maria Beltramini, coordenadora do Espaço Interativo de Ciências (IFSC-USP); ao Programa de Pós-Graduação em Física do Instituto de Física de São Carlos (IFSC-USP).

REFERÊNCIAS

- Ainsworth, S. (2008). The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Eds.). *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 191-208). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Beltramini, L. M., Araújo, A. P., Oliveira, T. H., Santos, L. D. A., Silva, A. R., & Santos, N. F. (2006). A new three-dimensional educational model kit for building DNA and RNA molecules: development and evaluation. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34(3), 187-193. <https://dx.doi.org/10.1002/bmb.2006.49403403187>
- Carlisle, D., Tyson, J., & Nieswandt, M. (2015). Fostering spatial skill acquisition by general chemistry students. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 478-517. <https://dx.doi.org/10.1039/C4RP00228H>
- Carvalho, J. C. Q., Abel, L. D. S., Beltramini, L., & Bossolan, N. R. S. (2014). "Sintetizando Proteínas", o jogo: proposta e avaliação de uma ferramenta educacional. *Revista de Ensino de Bioquímica*, 12(1), 48-68. <https://dx.doi.org/10.16923/reb.v12i1.328>
- Carvalho, J. C. Q., Couto, S. G., & Bossolan, N. R. S. (2012). Algumas concepções de alunos do ensino médio a respeito das proteínas. *Ciência & Educação (Bauru)*, 18(4), 897-912. <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132012000400010>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Research Methods in Education*. London: Routledge/ Falmer.
- Franco, M. L. P. B. (2005). *Análise de conteúdo*. (2a ed.). Brasília, DF: Líber Livro.
- Gil, A. C. (1999). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. (5a ed.). São Paulo, SP: Atlas.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1997) The kinds of mental representations models, propositions and images-used by college physics students regarding the concept of electromagnetic field. *International Journal of Science Education*, 19(6), 711-724. <https://dx.doi.org/10.1080/0950069970190607>
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11. <https://dx.doi.org/10.1080/095006900289976>
- Greca, I. M., & Santos, F. M. T. (2006). Algumas metodologias para o estudo de modelos mentais. In F. M. T. Santos & I. M. Greca. *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias* (pp. 391-428). Ijuí, RS: Unijuí.
- Harle, M., & Towns, M. H. (2013). Students' understanding of primary and secondary protein structure: Drawing secondary protein structure reveals student understanding better than simple recognition of structures. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 41(6), 369-376. <https://dx.doi.org/10.1002/bmb.20719>
- Harris, M. A., Peck, R. F., Colton, S., Morris, J., Chaibub Neto, E., & Kallio, J. (2009). A combination of hand-held models and computer imaging programs helps students answer oral questions about molecular structure and function: a controlled investigation of student learning. *CBE Life Sciences Education*, 8(1), 29-43. <https://dx.doi.org/10.1187/cbe.08-07-0039>

- Höst, G. E., Larsson, C., Olson, A., & Tibell, L. A. (2013). Student Learning about Biomolecular Self-Assembly Using Two Different External Representations. *CBE-Life Science Education*, 12(3), 471-482. <https://dx.doi.org/10.1187/cbe.13-01-0011>
- Ibrahim, B., & Rebello, N.S. (2003). Role of mental representations in problem solving: Students' approaches to nondirected tasks. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9(2), 020106-1 – 020106-17. <https://dx.doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.020106>
- Jittivadhna, K., Ruenwongsa, P., & Panijpan, B. (2010). Beyond textbook illustrations: hand-held models of ordered dna and protein structures as 3D supplements to enhance student learning of helical biopolymers. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 38(6), 359-364. <https://dx.doi.org/10.1002/bmb.20427>
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/75824/96328>
- Lagreca, M. C. B., & Moreira, M. A. (1999). Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de física geral na área de Mecânica clássica e possíveis modelos mentais nessa área. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21(1), 202-215. Recuperado de http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21_202.pdf
- Linemberger, K. J., & Bretz, S. L. (2014). Biochemistry Students' Ideas About Shape and Charge in Enzyme–Substrate Interactions. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 42(3), 203-212. <https://dx.doi.org/10.1002/bmb.20776>
- Lüdke, M., & André, M. E. D. A. (1986). *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo, SP: Epu.
- Moreira, M. A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(3), 193-232. Recuperado de http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID17/v1_n3_a1.pdf
- Moreira, M. A., Greca, I. M., & Palmero, M. L. R. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(3), 36-56. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/modelosmentalesymodelosconceptuales.pdf>
- Moreira, M. A., & Lagreca, M. C. B. (1998). Representações mentais em alunos de mecânica clássica: três casos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 3(2), 83-106. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/619/408>
- Moutinho, S., Moura, R., & Vasconcelos, C. (2016). Mental models about seismic effects: students' profile based comparative analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(3), 391-415. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9572-7>
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130. <https://dx.doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Palmero, M. L. R., Acosta, J. M., & Moreira, M. A. (2001). La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(3), 243-268. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/575>
- Roberts, J. R., Hagedorn, E., Dillenburg, P., Patrick, M., & Herman, T. (2005). Physical models enhance molecular three-dimensional literacy in an introductory biochemistry course. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 33(2), 105-110. <https://dx.doi.org/10.1002/bmb.2005.494033022426>
- Rotbain, Y., Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2006) Effect of bead and illustrations models on high school students' achievement in molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(5), 500-529. Recuperado de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1050891.pdf>

- Schönborn, K. J., & Anderson, T. R. (2006). The Importance of Visual Literacy in the Education of Biochemists. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34(2), 94-102. <https://dx.doi.org/10.1002/bmb.2006.49403402094>
- Silva, A. R. (2010). *Desenvolvimento e avaliação de modelos representativos para a construção de aminoácidos e de estruturas de proteína*. (Tese doutorado em Física Aplicada - Biomolecular). Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-16022011-091415/pt-br.php>
- Silva, M. F. (2012). *Compreensão da estrutura de proteínas por estudantes de nível superior, na perspectiva da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird*. (Dissertação mestrado em Física Aplicada – Biomolecular). Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-09042013-083924/pt-br.php>
- Srivastava, A. (2016). Building mental models by dissecting physical models. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 44(1), 7-11. <https://dx.doi.org/10.1002/bmb.20921>
- Tauceda, K. C., & Pino, J. C. D. (2010). Modelos e outras representações mentais no estudo do DNA em alunos do ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 15(2), 337-354. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/299>

Recebido em: 12.06.2018

Aceito em: 18.05.2019