REB in the School

Construção e aplicação de um modelo tridimensional como recurso didático para o ensino de síntese proteica

Construction and use of a three-dimensional model as a teaching resource for protein synthesis

Alberto Alexandre Lazzaroni ^{1*}, Gerlinde Agate Platais Brasil Teixeira ²

¹CIEP 449 Gov. Leonel de Moura Brizola Intercultural Brasil-França, Niterói, RJ, Brasil; ²Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil

*e-mail: toberal16@hotmail.com

Support: CAPES

Abstract

A lot of biology topics are complex and abstract. So, the use of models that can simplify without trivializing knowledge, are important tools for the transposition of academic knowledge in school settings. By understanding the needs of its construction and, due to the lack of a concrete model that exemplifies the protein synthesis, the objective of this work was to elaborate this referred model. For this, the active teaching method was applied as a challenge proposal: the conception of a model conducted by High School students. Once the prototype was built, this strategy was applied to biology graduates, who evaluated and made some criticisms about it. Our results show that the tactic used was effective. It was verified that the model should be reproduced and that its application facilitated learning of both high school students and undergraduates. We conclude that the availability of this model should contribute to the learning of biochemistry / molecular biology in formal education.

Keywords: *protein synthesis; teaching-learning models; Molecular Biology*

Resumo

Muitos temas de Biologia são complexos e abstratos. Assim, o uso de modelos capazes de simplificar sem, no entanto, banalizar o conhecimento são importantes ferramentas para a transposição do saber acadêmico no âmbito escolar. Entendendo a necessidade de sua construção e, ao mesmo tempo, diante da carência de um modelo concreto que exemplifique a síntese proteica, o objetivo deste trabalho foi a elaboração do referido modelo. Para tanto, foi aplicado o método ativo de ensino através da proposição de um desafio: a concepção de um modelo feito pelos alunos de Ensino Médio. Uma vez construído o protótipo, a estratégia foi aplicada a licenciandos de Biologia, que o avaliaram e criticaram. Nossos resultados mostram que a tática utilizada foi eficaz. Verificou-se, desse modo, que o modelo deva ser reproduzido e que sua aplicação facilitou o aprendizado tanto dos secundaristas como dos graduandos. Concluímos que a disponibilidade do modelo deve contribuir para o aprendizado de bioquímica / biologia molecular na educação formal.

Palavras-chave: *síntese proteica; modelos didático-pedagógicos; Biologia Molecular*

Ficha da atividade desenvolvida

Título	Construção e aplicação de um modelo tridimensional como recurso didático para o ensino de síntese proteica
Público-alvo	Estudantes do Ensino Médio
Disciplinas	Biologia Molecular, Bioquímica, Genética
Objectivos educacionais	Compreender o mecanismo da síntese proteica. Estimular a cooperação entre os alunos.
Justificativa de uso	A visualização e manipulação dos componentes do modelo desenvolvido prometem ser uma ferramenta muito eficiente, pois facilita o entendimento do processo da síntese proteica. Para manipular o modelo, é necessário mais de um aluno, o que nos permite estimular a cooperação, componente fundamental no processo de ensino-aprendizagem e no ambiente de trabalho. Além disso, o modelo apresenta a vantagem de ter sido construído com materiais de baixo custo e/ou recicláveis.
Conteúdos trabalhados	Síntese de proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, nucleotídeos.
Duração estimada	30 a 40 minutos
Materiais utilizados	Isopor, PVC, plástico, biscoito, tintas de madeira e plástica, pincéis, caneta preta.
Link	http://www.uff.br/espacouffciencias/experimentoteca.htm

1 Introdução

Os processos e conceitos biológicos, desde os mecanismos do micromundo (moleculares e celulares) aos do macromundo (os organismos e suas relações), são ao mesmo tempo, complexos e abstratos. Por isto, são frequentemente encarados pelos alunos como assuntos difíceis de aprender sobretudo quando são apresentados no contexto do ensino tradicional. Como exemplos de tópicos do micromundo, considerados “difíceis de aprender”, podemos citar: a genética, a síntese proteica, a fotossíntese, a respiração, a divisão celular entre muitos outros.

A maioria das escolas não apresenta estrutura laboratorial adequada nem material biológico suficiente para a realização de aulas práticas. Além disto, a legislação vigente restringe a utilização de processos vivos na sala de aula [1]. Para contornar esta realidade, nosso grupo vem trabalhando na construção e aplicação em sala de aula de modelos que abordam diferentes temas da Biologia Molecular e da Biotecnologia contemplando uma boa parte do dogma central da Biologia: duplicação do DNA, transcrição e tradução. Nossa ação abrange tanto a formação inicial de professores, atuando nas aulas regulares para licenciandos em Biologia e acompanhando bolsistas do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), como a formação continuada com a oferta desde cursos de atualização até o doutorado para professores em atividade.

Da mesma forma, outros pesquisadores da área do ensino de Ciências têm desenvolvido materiais didático-pedagógicos, com o intuito de disponibilizar aos professores instrumentos auxiliares em sua prática pedagógica [2]. Tem sido demonstrado que a partir da utilização de materiais de baixo custo, encontrados no cotidiano, é possível propiciar aulas mais atraentes e motivadoras, nas quais os alunos são envolvidos na construção de seu conhecimento [3].

1.1 Modelos didático-pedagógicos

Na prática cotidiana da sala de aula, percebe-se a dificuldade que os alunos, em geral, possuem para entender alguns dos processos e conceitos da Biologia, tais como a síntese de proteínas, a respiração, a fotossíntese e a divisão celular.

O entendimento é dificultado, muitas vezes, pelo caráter complexo, com muitas etapas, destas reações. A genética, por exemplo, é sempre vista como algo muito difícil de aprender e de ensinar, pois os estudantes estão expostos simultaneamente a vários conceitos e processos novos tanto no nível organizacional macro quanto no molecular [4].

O caráter microscópico das estruturas estudadas torna sua apresentação imperceptível à visão humana [5] e por consequência abstratas [6].

Quando se trata de temas moleculares, a explicação oral isolada geralmente não é suficiente, tornando-se necessário construir representações do mundo. Para que esse entendimento possa se dar da melhor maneira possível, podemos usar como estratégia as analogias e metáforas [7]. Os elementos básicos dessas representações são os modelos, através dos quais consegue-se chegar à uma aprendizagem abstrata persistente [8]. Através dele pode-se fazer a análise de conceitos abstratos, aumentando a aprendizagem e ajudando na relação dos estudantes com as atividades propostas nas aulas.

De uma maneira geral, o modelo é a representação de um fenômeno, um objeto ou uma ideia [9]. É necessário deixar bem claro para os alunos que os modelos são sempre simplificações do objeto real ou etapas de um processo dinâmico [10]. O uso de modelos didáticos no ensino de Ciências e Biologia tem como objetivo ensinar questionamentos sobre um determinado tema que não ocorriam antes de sua utilização.

Os modelos devem ainda serem considerados não somente numa perspectiva mecânica, mas sim numa que permita ao estudante estabelecer uma interação dialógica que promovam a sua eficácia [11].

Embora seja fundamental a presença e a sequência adequada de nucleotídeos no DNA, são as proteínas e não o DNA, as biomoléculas capazes de regular e sinalizar o funcionamento celular. As proteínas se organizam em redes complexas de interação funcional coordenando desde a divisão até a morte celular passando, é claro, pela sua manutenção.

Dessa forma o conhecimento de como as proteínas são sintetizadas e quais são as possíveis etapas de interferência são de suma importância para se compreender vários outros aspectos da Biologia e imprescindível para todos aqueles que se dedicam ao estudo dessa ciência.

A tradução, envolvendo a síntese proteica, era um tema ainda parcialmente abordado pelo nosso grupo, e, portanto, a construção de um modelo tridimensional interativo seria importante. Este modelo complementou o conjunto das oficinas didáticas de ensino da biologia molecular e da biotecnologia realizadas pelo nosso grupo.

2 Desenvolvimento e aplicação

2.1 Público alvo

2.1.1 Confeção do modelo

O modelo começou a ser construído a partir de reuniões realizadas com alunos do Ensino Médio do Colégio Estadual Intercultural Brasil-EUA. Inicialmente, foi realizada uma enquete para convidá-los a participarem de um grupo de trabalho que se encarregaria da construção do modelo. Foi esclarecido que se tratava de algo voluntário e que aqueles que não desejassem (ou que não pudessem) participar, deveriam ficar à vontade para declinar o convite. Assim, ao final do processo, foi formado um grupo de 22 alunos que, efetivamente, se propuseram a fazer parte do processo de criação.

2.1.2 Validação do modelo

O modelo criado foi validado por 11 alunos da Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal Fluminense, no primeiro semestre letivo do ano de 2015, pertencentes a diferentes períodos e que cursavam a disciplina de Instrumentação para o Ensino de Biologia.

2.1.3 Aplicação do modelo

Uma vez confeccionado, o modelo foi aplicado em quatro turmas de ensino médio do C.E. Intercultural Brasil-EUA (2001, 2002, 2003 e 2004) no ano letivo de 2015, com um total de 84 alunos e para 11 alunos da Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal Fluminense, no primeiro semestre letivo do ano de 2015, pertencentes a diferentes períodos e que cursavam a disciplina de Instrumentação para o ensino de Biologia.

2.2 Confeção do modelo tridimensional sobre síntese proteica

Com o início das oficinas, nosso primeiro objetivo foi escolher os materiais a serem utilizados na construção do modelo. Deixamos os alunos trabalharem de forma espontânea estimulando-os a utilizar materiais de baixo-custo e de preferência recicláveis. A partir desse ponto, foram surgindo nomes como isopor, PVC, vidro, madeira, arames, fios, entre outros. Além da forma dos componentes do modelo, pensou-se muito na sua resistência mecânica e funcionalidade bem como na facilidade de transportá-lo. O vidro, por exemplo, foi prontamente abandonado por tornar o modelo muito pesado e pelo risco

de provocar cortes nas pessoas no momento da construção, bem como após o modelo pronto, em caso de queda.

Num segundo momento, tivemos uma reunião na qual o objetivo era de se pensar o modelo em si. Nesse momento, os alunos foram estimulados a trabalhar com a técnica conhecida como "brainstorming". Esse termo, traduzido para o português como "tempestade de ideias", é uma técnica de dinâmica de grupo na qual se procura explorar o potencial criativo de cada indivíduo ou do grupo como um todo, intencionando-se atingir algum objetivo específico.

A técnica propõe a reunião do grupo onde cada componente vai se expressar deixando fluir qualquer ideia ou pensamento que venha à sua cabeça. Buscávamos interagir com eles, escutando, porém, interferindo o menos possível. À medida que as dúvidas surgiam, respondíamos às perguntas de maneira a não fornecer a resposta pronta e sim estimulando-os a seguir em frente no processo criativo. Espera-se, com isso, reunir o maior número possível de propostas e sugestões que levem à solução dos problemas ou entraves que estejam impedindo a continuidade do projeto [12].

A seguir, os alunos se dividiram em grupos e foram ao quadro-negro, para discutir as diferentes possibilidades. Nesta fase, o papel do professor foi de mediador, a fim de evitar que um determinado grupo monopolizasse a discussão. A dinâmica transcorreu num clima cordial e amistoso. Dentro daquilo que havia sido apreendido sobre o conteúdo teórico trabalhado nas aulas anteriores e também pelos diferentes traços de personalidade, a discussão foi sendo delineada e, quando nos demos conta, o quadro estava cheio de esboços. Surgiram mecanismos envolvendo o uso de manivelas, engrenagens, enfim, tudo muito engenhoso (Figura 1).

Figura 1. Paineis de fotografias demonstrando o raciocínio dos alunos na elaboração do modelo.

Após essas etapas, decidimos construir o modelo da seguinte forma: uma base de sustentação em madeira, com duas hastes perpendiculares, nas quais foi inserido um tubo de PVC que funciona como o eixo de sustentação do RNA mensageiro (RNAm). Esse tubo de PVC é perpassado por um outro tubo, também de PVC, porém mais largo e cortado em pedaços, representando o RNAm.

Cada pedaço desse tubo significa um códon (trinca de bases do RNAm) diferente. O ribossomo foi feito a partir de uma bola de isopor cortada em dois pedaços de diferentes tamanhos de forma que tivéssemos as duas subunidades do ribossomo equivalendo cada uma a $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$ dessa bola.

Para permitir que o ribossomo se deslocasse no RNAm foi inserido, dentro da bola, um pedaço do tubo utilizado para fazer os códons. Um carrinho de controle remoto foi colocado dentro do ribossomo pela parte dianteira, que foi cortada, retirando-se inclusive as rodas, e a parte traseira (com as rodas) tocando a base do modelo. Esse carrinho, ao ser acionado por um controle remoto, permitia o deslocamento do ribossomo. Para a confecção dos RNA-transportadores (RNAt), aminoácidos e fator de terminação, o material utilizado foi o biscuit.

Para resolver a questão da ligação de cada RNAt ao seu respectivo aminoácido foi introduzida uma pequena haste metálica à massa do biscuit, ainda na fase de moldagem, tanto nos RNAt quanto nos aminoácidos. Cada aminoácido foi ainda moldado com um pequeno orifício no qual a haste, tanto do RNAt quanto de um outro aminoácido, possa ser inserida. Assim, garantiu-se não só a ligação dos aminoácidos aos seus RNAt como entre eles na formação da cadeia polipeptídica. A figura 2 apresenta um painel de fotografias mostrando o modelo construído e as etapas da síntese proteica nele representadas.

Figura 2. Painel de fotografias mostrando o modelo construído e as etapas da síntese proteica nele representadas.

2.3 Validação e aplicação do modelo

2.3.1 Validação do modelo

Coube aos licenciandos o papel de avaliar o modelo de forma crítica. Eles assistiram e participaram de uma oficina demonstrando o modelo em funcionamento. Quando perguntados sobre a qualidade da oficina, em sua maioria a avaliaram como “muito boa” e “excelente”. Quanto ao grau de dificuldade da utilização do modelo, a maioria considerou a oficina “fácil”. Quando indagados se o modelo ajudou a entender o assunto trabalhado, a maioria respondeu “sim, tudo”.

Eles deram ainda algumas sugestões bem interessantes: a) promover uma miniaturização do modelo para reduzir seu peso e, conseqüentemente, facilitar seu transporte; b) fazer uma abertura maior do ribossomo na parte de contato com o RNA mensageiro de forma a facilitar a visualização do códon; c) sugeriram que, ao invés de se utilizar um único pedaço de PVC para representar o códon, que se cortasse esse pedaço em três de forma que cada base iria ser encaixada separadamente.

A grande vantagem dessa última sugestão é que reforça a ideia de continuidade da molécula de RNAm além de permitir trabalhar o conceito de mutação, seja por substituição, deleção ou substituição, o que no modelo original não era possível.

2.3.2 Aplicação do modelo

Uma vez confeccionado e validado, o modelo foi aplicado em quatro turmas de Ensino Médio do C.E. Intercultural Brasil-EUA (2001, 2002, 2003 e 2004) no ano letivo de 2015, com um total de 84 alunos (Figura 3).

Figura 3. Painele de fotos representativo das aulas onde foi utilizado o modelo com os alunos do Ensino Médio.

2.3.3 Avaliação do modelo pelos alunos do Ensino Médio

Como rotina, nossa equipe realiza uma avaliação das oficinas aplicadas através de um questionário semiestruturado previamente validado, o qual permite a elaboração de contribuições para a melhoria da proposta apresentada, além de ajudar a compreender a percepção dos usuários. Assim, após a aplicação do modelo, foi solicitado aos alunos que respondessem a esse questionário (Figura 4).

Título da atividade: _____ Data ____ / ____ / ____

Em sua opinião, a atividade apresentada pode ser considerada:
☐ Excelente (9-10) ☐ Muito boa (8-9) ☐ Boa (7-8) ☐ Regular (6-7) ☐ Ruim (0-5)

Qual a principal ideia que você identificou na atividade? _____

Como você considera a realização da oficina?
☐ muito difícil ☐ difícil ☐ regular ☐ fácil ☐ muito fácil

Por que você achou isso? _____

A atividade ajudou a entender o assunto trabalhado?
 Antes da atividade eu pensava que _____

e depois de realizar a oficina (aprendi que / entendi que / verifiquei que) _____

Figura 4. Questionário desenvolvido pelos autores para a avaliação das oficinas realizadas com alunos do ensino médio e licenciandos de Biologia.

Os alunos do ensino médio, em sua maioria, avaliaram o modelo como muito bom e que se prestava, de uma forma muito eficiente, a explicar a síntese proteica. Destaca-se aqui algumas falas dos alunos transcritas em sua integridade a partir do questionário de avaliação:

“O processo de síntese proteica pode ser explicado e entendido de uma maneira muito mais simples” (aluno 2)

“A atividade pode fazer, de forma ilustrativa, com que qualquer pessoa possa entender o processo de síntese proteica” (aluno 4)

“Porque ajuda a compreender as coisas que achava difícil” (aluno 6)

3 Reflexões e considerações finais

Afirma-se que a metodologia “hands-on” resulta em ganhos com relação aos métodos tradicionais [13]. Enumeram-se três fatores para explicar a eficácia das metodologias ativas (“hands-on”): a interação entre os pares através da aprendizagem cooperativa, a aprendizagem mediada pelo objeto e a aprendizagem por incorporação. Acredita-se ainda que as atividades “hands-on” se configuram como uma poderosa estratégia de ensino e “...o modelo mais holístico de aprendizagem...” que possibilita a criação de oportunidades para que os estudantes possam tomar conhecimento do mundo natural [14].

Após a construção e aplicação do modelo, obtivemos bons resultados com a utilização do mesmo. Percebemos que tanto os graduandos como os alunos do Ensino Médio aceitaram bem a atividade em todos os momentos em que foi aplicada; apresentaram atitudes de entusiasmo e verbalizaram que o modelo foi muito eficiente para explicar o mecanismo da síntese de proteínas. Acreditamos que a utilização de modelos possa complementar o conteúdo do livro aproximando tópicos aparentemente desconectados. É também importante fazer uma discussão com os alunos sobre as vantagens e limitações do uso dos modelos científicos e o quanto estes diferem dos modelos que aprenderam em séries anteriores ou através de meios informais, ou seja, através do conhecimento popular ou senso comum. Quando não se discute estas limitações, é frequente a prevalência das concepções cotidianas.

Após a aplicação do modelo, solicitamos aos alunos que relatassem sua apreciação sobre a oficina e, em sua maioria, disseram ter compreendido o assunto. Como forma de exemplificação, transcrevemos algumas justificativas:

“Depois de realizar a oficina, entendi que os aminoácidos são transportados até formar as proteínas” (aluno 1)

“Aprendi que cada proteína é formada por diferentes tipos de aminoácidos” (aluno 5)

“Entendi perfeitamente a explicação da síntese proteica por completo” (aluno 7)

“As proteínas são formadas por aminoácidos e que elas têm inúmeras funções” (aluno 46)

Como pontos positivos desse processo de construção, podemos destacar a grande capacidade de interação entre os alunos, a vontade demonstrada para trabalhar com materiais concretos, a tenacidade para enfrentar as dificuldades que iam surgindo e o produto final em si, considerado por todos como muito satisfatório. Os materiais

escolhidos para a confecção do modelo se mostraram adequados para a execução da oficina. Assim podemos dizer que eles tiveram um desempenho satisfatório como demonstrado tanto pelos alunos do Ensino Médio como dos futuros professores. Os dois principais pontos negativos foram: o fato de ainda termos um modelo frágil, principalmente em função da utilização de isopor e o seu tamanho que pode dificultar o seu transportar.

Outro fator importante percebido no nosso trabalho é que as aulas que não se limitam à prática de transmissão oral permitem uma melhor compreensão de processos biológicos de difícil visualização. O significado do material didático e sua produção objetivou proporcionar uma relação entre sua construção e o aprendizado [15].

Através da avaliação pós-oficinas, que apresentou a percepção dos alunos, pudemos constatar que o modelo é didático, apresenta os componentes envolvidos no processo da síntese proteica e é de fácil manipulação. A simplificação da visualização de um processo complexo e abstrato certamente contribuiu para um melhor aprendizado por parte de todos os envolvidos. Quando solicitados para avaliarem a executabilidade das nossas oficinas, estas foram consideradas pela maioria dos alunos como “fácil” ou “regular” demonstrando mais uma vez que o modelo e a sequência proposta para a realização da oficina foram adequados. Quando avaliamos a percepção dos alunos do Ensino Médio e da graduação quanto à adequação, muitos citaram a dinâmica da atividade como um fator positivo.

Assim transcrevemos (na íntegra, inclusive com possíveis erros ortográficos) três justificativas representativas que foram apresentadas por alunos que responderam que gostaram do modelo:

“Pelo modo em que o professor explicou e pelo instrumento de trabalho que foi utilizado” (aluno 9)

“Porque com a oficina eu pude entender tudo e bem melhor do que apenas com a explicação” (aluno 10)

“Porque foi uma aula dinâmica, que a partir dela a síntese proteica e sua função ficou mais clara” (aluno 13)

No entanto, como qualquer modelo, este também apresenta as suas limitações tanto do ponto de vista estrutural quanto didático. Portanto, solicitamos que os participantes apontassem as principais. Entre as estruturais, podemos destacar a sua fragilidade.

A bola de isopor que representa o ribossomo teve que ser restaurada pois se danifica facilmente com o manuseio de muitos alunos durante a aula. Também foi apontado que os adesivos utilizados nos tubos de PVC que representam as bases

nitrogenadas se descolam com facilidade. Além disto, tivemos alguns relatos sobre o seu peso e sugestões para que seja miniaturizado, quando reproduzido, para facilitar o seu transporte.

Entre as limitações didáticas percebemos que o modelo se restringe a um ponto da síntese de proteínas, qual seja, a tradução do RNAm para a fita polipeptídica necessitando de modelos complementares para as explicações das estruturas secundária, terciária e quaternária das proteínas, bem como para explicar o mecanismo da mutação, seja ela por substituição, deleção ou inserção. Outro limitante do modelo é no tocante às ligações peptídicas. Sabe-se que a cada ligação de um aminoácido com outro, ocorre a liberação de uma molécula de água. Como através do nosso modelo não conseguimos mostrar os átomos envolvidos, essa etapa não pode ser visualizada ficando restrita à explicação teórica.

A construção do modelo proposto neste trabalho foi na verdade a resolução de um problema anterior pois temos, no Espaço UFF de Ciências, modelos para abordar: 1) a duplicação e transcrição do DNA, 2) as consequências das mutações pontuais 3) a estrutura 1ária, 2ária, 3ária e 4ária. Faltava ainda um modelo que permitisse a melhor compreensão da tradução. Neste sentido, a solução para o professor é a utilização do conjunto de modelos disponíveis. Embora a equipe do Espaço UFF de Ciências tenha uma experiência de mais de 20 anos com a construção de modelos, este ainda não foi exaustivamente testado.

Sendo assim, um outro aspecto a ser considerado é que o modelo deverá ser aplicado mais vezes por diferentes instrutores e diferentes plateias para que possamos ter uma noção mais efetiva de sua validade. Acreditamos que, de posse de todas essas informações, possamos dar sequência ao nosso trabalho e, incorporando possíveis alterações, ter no futuro um produto final mais adequado para a transposição didática pedagógica deste conteúdo tanto no cenário do ensino formal quanto no da divulgação científica.

Referências

- [1] Lei No 11.794, de 8 de outubro de 2008. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11794.htm (acesso em 3 de outubro de 2016).
- [2] Matos, C. H. C., C. d. Oliveira, M. d. F. Santos and C. S. Ferraz (2009). "Utilização de modelos didáticos no ensino de entomologia." *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 9(1): 19-23.
- [3] Castro, C. L., Araújo, S. C. M. "Uma proposta de experimentos com materiais alternativos a partir da análise do livro didático." XVI ENEQ/X EDUQUI-ISSN: 2179-5355 (2013).

- [4] Rotbain, Y., G. Marbach-Ad and R. Stavy (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.
- [5] Fontes, G. O., D. T. Chapani and A. L. B. de Souza (2013). "Simulação do processo de síntese de proteínas: limites e possibilidades de uma atividade didática aplicada a alunos de ensino médio." *Experiências em Ensino de Ciências* 8(N.1).
- [6] Orlando, T. C., A. R. Lima, A. M. da Silva, C. N. Fuzissaki, C. L. Ramos, D. Machado, F. F. Fernandes, J. C. C. Lorenzi, M. A. de Lima and S. Gardim (2009). "Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para abordagem de Biologia Celular e Molecular no Ensino Médio por graduandos de Ciências Biológicas." *Revista de Ensino de Bioquímica* 7(1): 1-17.
- [7] Gilbert, J. K. (2004). "Models and modelling: Routes to more authentic science education." *International Journal of Science and Mathematics Education* 2(2): 115-130.
- [8] Hasenekoglu, I. and M. Timucin (2007). *Biology Teacher and Expert Opinions about Computer Assisted Biology Instruction Materials: A Software Entitled Nucleic Acids and Protein Synthesis*. International Educational Technology (IETC) Conference. Nicosia, Turkish Republic of Northern Cyprus, ERIC Online submission.
- [9] Ornek, F. (2008). "Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching Science." *International Journal of Environmental and Science Education* 3(2): 35-45.
- [10] Silva, A. C. d. and N. V. Meliciano (2014). Simplificando o ensino-aprendizagem de genética para os alunos de 1º ano do ensino médio de uma escola pública do Amazonas. *Iniciação & Formação Docente*. 1: 1-18.
- [11] Setúval, F. A. R. and N. R. R. Bejarano (2009). Os modelos didáticos com conteúdos de genética e a sua importância na formação inicial de professores para o ensino de ciências e biologia. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis.
- [12] Nóbrega, M. M., Neto, D. L., Santos, S. R. "Uso da técnica de brainstorming para tomada de decisões na equipe de enfermagem de saúde pública." *Rev Bras Enferm* (1997): 247-56.
- [13] Bredderman, T. (1983). "Effects of activity-based elementary science on student outcomes: A quantitative synthesis." *Review of Educational Research* 53(4): 499-518.
- [14] Satterthwait, D. (2010). "Why Are" Hands-On" Science Activities so Effective for Student Learning?" *Teaching Science* 56(2): 7-10.
- [15] Pereira, A. J. P., G.S.; Alves, F.G.S; Gonçalves, J.J.S.; Matoso, J.R. (2014). "Modelos didáticos de DNA, RNA, ribossomos e processos moleculares para o ensino de Genética do ensino médio." *Revista da SBEnbio - Associação Brasileira de Ensino de Biologia* 7: 564-571.

Agradecimentos

Em especial aos alunos, professores e direção dos CIEPs 449 Brasil-França e 117 Brasil-EUA e os licenciandos de Ciências Biológicas da Universidade Federal Fluminense, sem os quais esse trabalho não seria possível. À Izabela Sad, por todo apoio e ajuda na formatação, e às professoras Sany Lemos Moreira Monteiro (CIEP 449) e Ana Maria Escriche (CIEP 117), pela revisão gramatical.