

Autores | Authors

Roger Maia Dias
Ledo*

[roger.ledo@ifb.edu.br]

Carlos Petrônio
Leite da Silva**

[carlos.silva@ifb.edu.br]

LIMITES E POSSIBILIDADES DA IMPRESSÃO 3D COMO FERRAMENTA EM ABORDAGENS STEAM NO ENSINO DE BIOLOGIA: UM ESTUDO DE CASO

LIMITS AND POSSIBILITIES OF 3D PRINTING AS A TOOL IN STEAM APPROACHES IN TEACHING BIOLOGY: A CASE STUDY

Resumo: A preparação de alunos para atuar com soluções criativas nas carreiras científicas e tecnológicas é um dos objetivos principais da educação do século XXI. O modelo STEAM integra inúmeras disciplinas e usa a arte e a tecnologia na criação de soluções inovadoras, além de desenvolver uma base matemática e científica nos estudantes. Como diversos assuntos de ciências biológicas são tratados de forma abstrata, como as realidades microscópicas (ex.: citologia), o uso de modelos seria uma alternativa para promover a aprendizagem significativa de maneira associativa. O citoesqueleto que mantém o formato das células, por meio de proteínas específicas localizadas logo abaixo da membrana plasmática, é um exemplo de tema abstrato. Essas proteínas formam arranjos similares aos domos geodésicos de Buckminster Fuller, de forma que a construção e a compreensão de um modelo de citoesqueleto para o ensino de citologia não envolveria apenas o conhecimento biológico, mas também matemático, de engenharia civil e de tecnologias. No ambiente de trabalho nas últimas décadas, ferramentas de *design* em computador e impressão em 3D, em específico, tiveram uso crescente, justificando a inclusão dessas ferramentas em sala de aula. Com base nisso, apresentamos um estudo de caso de abordagem STEAM, com *design* e impressão 3D, na facilitação do ensino de tema abstrato de Biologia envolvendo o citoesqueleto celular. Realizamos esse estudo em turmas do primeiro ano do ensino médio do Instituto Federal de Brasília, *Campus* Samambaia. Em seguida, discutimos as vantagens e as desvantagens do uso dessa ferramenta no ambiente escolar, bem como formas de popularizar o uso da impressão 3D em sala de aula, treinando professores da rede pública, por exemplo.

Palavras-chave: STEAM, aprendizagem significativa, interdisciplinaridade, motivação no ensino, inovação no ensino médio

Abstract: Preparing students to work with creativity in scientific and technological careers to solve problems of the everyday life is one of the main educational goals of the 21st century. The STEAM model integrates several disciplines and uses art and technology in the design of innovative solutions, and also develops a mathematical and scientific base for students. Several subjects in biological sciences are abstract, such as those involving microscopic realities (e.g. cytology), and the use of models can be an alternative to promote meaningful learning in an associative perspective. The cell cytoskeleton, which maintain the shape of cells with specific proteins located right below the plasma membrane, is an example of an abstract topic. These proteins form triangular arrangements similar to Buckminster Fuller's geodesic domes, so that the design and construction of a cytoskeleton model would involve not only biological but also mathematical, civil engineering and technology knowledge in the design and execution of ideas. Specifically, computer design and 3D printing tools have been

Recebido em: 08/12/2019

Aceito em: 02/06/2020

extensively used in the workplace in recent decades, justifying the inclusion of these tools in classroom. Based on this, we present a case study of a STEAM approach with the use of design and 3D printing to facilitate the teaching of abstract subjects in Biology: the cytoskeleton. We conducted this study in first year high school classes at the Federal Institute of Brasília, campus Samambaia. After that, we discuss the advantages and disadvantages of using this tool in the school environment, as well as ways to popularize the use of 3D printing in the classroom, training public school teachers, for example. papers, it was evidenced that the formation of teachers is insufficient or of initial level. In this way, continuing education courses are necessary in the training of teachers.

Keywords: STEAM, meaningful learning, interdisciplinarity, motivation in education, innovation in elementary school

INTRODUÇÃO

A preparação de alunos para atuar na implementação de soluções criativas para os diversos problemas mundiais e da vida cotidiana é um dos objetivos principais do século XXI (NOVAK; WISDOM, 2018). O modelo STEAM (acrônimo de *Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*) integra inúmeras disciplinas e usa a arte e a tecnologia no *design* de soluções inovadoras, além de desenvolver uma base matemática e científica nos estudantes. Ela é considerada um paradigma educacional para o presente século e é adotada com sucesso em países como EUA e Coreia do Sul (YAKMAN; LEE, 2012), contrapondo-se à visão fragmentada e especialista dos currículos escolares. Com base nela, espera-se que estudantes sejam capazes de aplicar conhecimento adquiridos em uma disciplina para outras disciplinas, realizando mais conexões entre conteúdos apreendidos do que no aprendizado de disciplinas individualizadas. Dessa forma, o conhecimento seria mais profundo (considerando inúmeras perspectivas de um determinado assunto, por exemplo) e mais próximo de uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011; PELIZZARI; KRIEGL; BARON; FINK *et al.*, 2002). Além disso, espera-se o desenvolvimento do pensamento crítico, uma vez que os alunos passariam a embasar suas conclusões em pontos de vista de várias disciplinas, em uma perspectiva interdisciplinar e integrada.

O ensino médio é considerado a etapa final da educação básica brasileira (art. 35, Lei 9.394/1996, LDB), etapa de consolidação e aprofundamento de conhecimentos, assegurando formação comum indispensável para o exercício da cidadania (art. 22 e artigo 35, inciso I, LDB) e para o desenvolvimento da autonomia do aprendizado e do pensamento crítico (art. 35, inciso II e III, LDB). O ensino médio não é uma etapa inacabada a ser finalizada no ensino superior, como pensado em décadas anteriores, nem um conjunto de disciplinas compartimentalizadas que não se articulam entre si (BRASIL, 2002; 2018). Assim, para desenvolver no aluno a autonomia do aprendizado, o ensino deve passar tanto por reformas de currí-

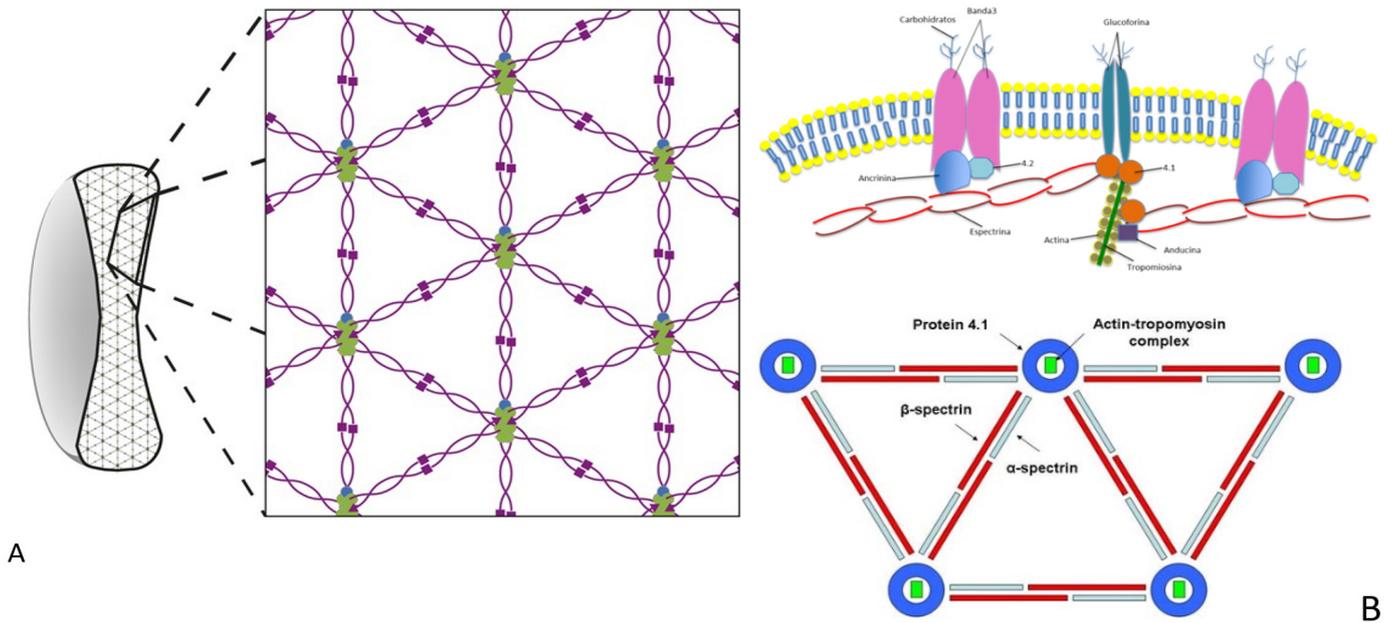
culo quanto por reformas de propósitos, condições e métodos (PELIZZARI; KRIEGL; BARON; FINK *et al.*, 2002).

Apesar de todas as orientações acima, os conteúdos de ciências biológicas do ensino médio são predominantemente apresentados de forma expositiva e compartimentada (GIASSI, 2009; SILVA; MORAIS; CUNHA, 2011), mesmo sendo uma disciplina construída continuamente pela experimentação e pela intensa interação com outras disciplinas. Associado a isso, a enxurrada de novos termos e conceitos em áreas básicas das ciências biológicas, como em citologia (ex.: definição de mitose, meiose, mitocôndrias, complexo de Golgi, retículo endoplasmático, ácido ribonucleico, ácido desoxirribonucleico, ribossomos, entre outros), muitas vezes apresentados de forma pronta e rígida, impedem que o aluno tenha tempo para refletir ativamente sobre as descobertas e o funcionamento do interior de uma célula. A alta quantidade de conceitos, muitas vezes apresentados de forma desconexa e associados a uma pedagogia centrada no professor (e não no aluno), transformam o processo de ensino/aprendizagem em algo mecânico e desmotivador. Considerando ainda que, em biologia, um conhecimento adquirido serve de base para a inserção de novos conhecimentos, a aprendizagem incorreta desse conteúdo pode promover fracassos de aprendizagem em temas conexos.

Problemática e uso de tecnologias de desenho e impressão 3D

Um dos assuntos que são tratados de forma abstrata no primeiro ano do ensino médio brasileiro é o citoesqueleto celular. Por meio dele, células mantêm seu formato com proteínas do tipo actina e espectrina, localizadas logo abaixo da membrana plasmática. Essas proteínas formam arranjos triangulares que, por sua vez, organizam-se em pentágonos e hexágonos similares aos domos geodésicos de Buckminster Fuller (ALBERTS; JOHNSON; LEWIS; ROBERTS *et al.*, 2008; SOLTYS; GUPTA, 1992) (Figura 1). Entretanto, essas estruturas são imperceptíveis ao microscópio ótico, o que dificultaria a aprendizagem significativa do conteúdo. Diante desse cenário, o uso de mode-

Figura 1 – Modelo de hemácia (glóbulo vermelho) e de filamentos de espectrina e de actina em arranjos triangulares, pentagonais e hexagonais (A), similares aos modelos geodésicos de Buckminster Fuller (C). Detalhes da forma e do ancoramento proteico sobre a membrana plasmática, bem como os componentes do arranjo do citoesqueleto, estão representados na parte superior à direita da figura (B).



los seria uma alternativa para a apropriação do conhecimento de maneira associativa (SANTOS; INFANTE-MALACHIAS, 2013). De modo similar, a construção de um modelo de citoesqueleto celular envolveria, na concepção e execução das ideias, não apenas o conhecimento de citologia, mas também de matemática (angulações entre os filamentos de actina), de engenharia civil (resistência dos materiais que compreenderiam o citoesqueleto), de *design* e de tecnologias. Em específico, o uso das ferramentas de concepção, *design* em computador e impressão em 3D são crescentes no ambiente de trabalho nas últimas décadas, fator que por si só justifica a inclusão dessas ferramentas em sala de aula. Além disso, esse método não só permite a participação ativa do aluno no processo de investigação, *design* e construção do modelo, mas também facilita a compreensão de temas abstratos à realidade dos alunos, como as componentes de uma célula (SANTOS; INFANTE-MALACHIAS, 2013). Também desenvolvem múltiplas habilidades, como trabalho em equipe, planejamento, execução e avaliação de um projeto.

A tecnologia de impressão 3D envolve o desenho de objetos em três dimensões – em CAD (*Computer-Aided Design*, ou DAC – Desenho Auxiliado por Computador) ou pela digitalização por *scanner 3D* – e posterior impressão com deposição aditiva de material em camadas (NOVAK; WISDOM, 2018). Os materiais de construção das peças 3D variam desde plásticos comerciais mais comuns (ABS: Acrilonitrila Butadieno Estireno; PLA: Ácido Polilático) até materiais que simulam tecidos humanos, com células vivas e fibras proteicas de colágeno (NOOR; SHAPIRA; EDRI; GAL *et al.*, 2019). Essas impressoras têm se tornado cada vez mais acessíveis devido ao barateamento na construção e venda de impressoras 3D de mesa (*desktop 3D printers*) e devido à oferta de *softwares* de CAD gratuitos (exemplos: Fusion®, Sketchup®, ThinkerCAD®, entre outros). Desde sua invenção, há três décadas, a tecnologia de impressão 3D tem sido aplicada em uma infinidade de contextos de trabalho, como na construção civil, na medicina (RENGIER; MEHNDIRATTA; VON TENGG-KOBLIGK; ZECHMANN *et al.*, 2010; VACCAREZZA; PAPA, 2015), na odontologia (MA; XIE; YANG; TIAN, 2019; OBEROI; NITSCH; EDELMAYER; JANJIĆ *et al.*, 2019), na química (GROSS; ERKAL; LOCKWOOD; CHEN *et al.*, 2014) e na biotecnologia (NOOR; SHAPIRA; EDRI; GAL *et al.*, 2019), fenômeno que por si só justifica a necessidade de sua incorporação

nas escolas de ensino tecnológico como os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFs). Entretanto, ainda assim existem poucas ações e estudos avaliando a eficácia do ensino dessa ferramenta no contexto educacional do ensino fundamental e médio (NOVAK; WISDOM, 2018), sobretudo o brasileiro. Algumas das razões para a subutilização dessa tecnologia na educação formal são a relativa novidade dela, a falta de orientações para o desenho e implementação de projetos na escola e o suporte insuficiente na integração da tecnologia.

Os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFs) promovem educação superior, básica e profissional, sendo pluricurriculares e multicampi, especializados na oferta de educação profissional e tecnológica nas diferentes modalidades de ensino, com base na conjugação de conhecimentos técnicos e tecnológicos às suas práticas pedagógicas (BRASIL, 2008). Os IFs, em especial, também têm a finalidade de constituir-se em centro de excelência na oferta do ensino de ciências, estimulando o desenvolvimento de espírito crítico voltado à investigação empírica (BRASIL, 2008). Para atingir esse objetivo, faz-se necessário o desenvolvimento de metodologias capazes de promover a reflexão, o espírito crítico e a aprendizagem significativa, conforme explanado em parágrafos anteriores. Dada a importância da aprendizagem significativa no ambiente escolar e o caráter tecnológico e inovador dos Institutos Federais, e ainda o fato de as práticas STEAM serem incentivadas na base nacional comum curricular do ensino médio (BRASIL, 2018), propomos uma atividade prática STEAM de concepção e construção de um modelo de citoesqueleto celular para a disciplina de ciências biológicas, integrando matemática, engenharia civil e tecnologias de *design* e impressão em 3D. Em específico, visamos (1) promover aprendizagem significativa no ensino de ciências biológicas aplicado à citologia utilizando uma abordagem STEAM; (2) incentivar a participação ativa dos alunos na idealização, construção, avaliação e proposição de soluções alternativas para o modelo de citoesqueleto celular, compartilhando experiências durante o processo de construção; e (3) aumentar o espectro de possibilidades de ensino de biologia para o ensino médio, com base em desafios pedagógicos para o século XXI. Essa atividade foi realizada nos primeiros anos do ensino médio do IFB, Campus Samambaia, entre 2018 e 2019. Por fim, avaliamos as vantagens e as desvantagens do uso dessa ferramenta no ambiente escolar e apresentamos sugestões futuras

para popularizar o uso da impressão 3D nas salas de aula do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Design do citoesqueleto celular e minicurso com os alunos de Biologia 1

Inicialmente, apresentamos a estrutura e o funcionamento do citoesqueleto em uma aula de biologia aos alunos do pri-

meiro ano do curso de Controle Ambiental do IFB, Campus Samambaia. Na sequência (Tabela 1), apresentamos a proposta de atividade de construção do citoesqueleto por meio de design e impressão 3D. Os alunos se mostraram interessados com a proposta, mas também preocupados, já que não sabiam desenhar com CAD ou utilizar a impressora 3D. Assim, dessa apresentação inicial ficou decidida a ministração de um minicurso sobre o assunto, durante o evento interno de ciências, tecnologia e artes do Campus (SEACITEC – Semana de Artes, Ciência e Tecnologia) (Figura 2). Após o minicurso, averi-

Tabela 1 – Sequência didática da proposta pedagógica de construção de um modelo de citoesqueleto celular utilizando um molde de domo geodésico e impressão em impressora 3D. SEACITEC (Semana de Artes, Ciência e Tecnologia do Campus Samambaia); CONECTA-IF (evento nacional de educação tecnológica, organizado pelo Instituto Federal de Brasília e sediado na mesma cidade).

Sequência didática	Número de horas/aula
Citoesqueleto: estrutura e funções	1
Minicurso: funcionamento da impressora 3D (SEACITEC)	3
Construção do citoesqueleto em impressora 3D	Fora do horário de aulas
Montagem do citoesqueleto (1ª tentativa)	2
Montagem do citoesqueleto (2ª tentativa)	2
Montagem do citoesqueleto (3ª tentativa)	4
Remontagem do citoesqueleto durante o CONECTA-IF	A semana do evento

Figura 2 – Minicurso de design e impressão em 3D ministrado para parte da turma de primeiro ano do Ensino Médio Integrado em Controle Ambiental, durante a Semana de Arte, Ciência e Tecnologia (SEACITEC) de 2018. Desenho de um modelo de célula com destaque para o núcleo (A) utilizando o software Fusion 360® e testes de design em massa de modelar (B e D) antes do desenho no computador (A e C). Detalhe da impressora 3D (modelo delta) utilizada em C.

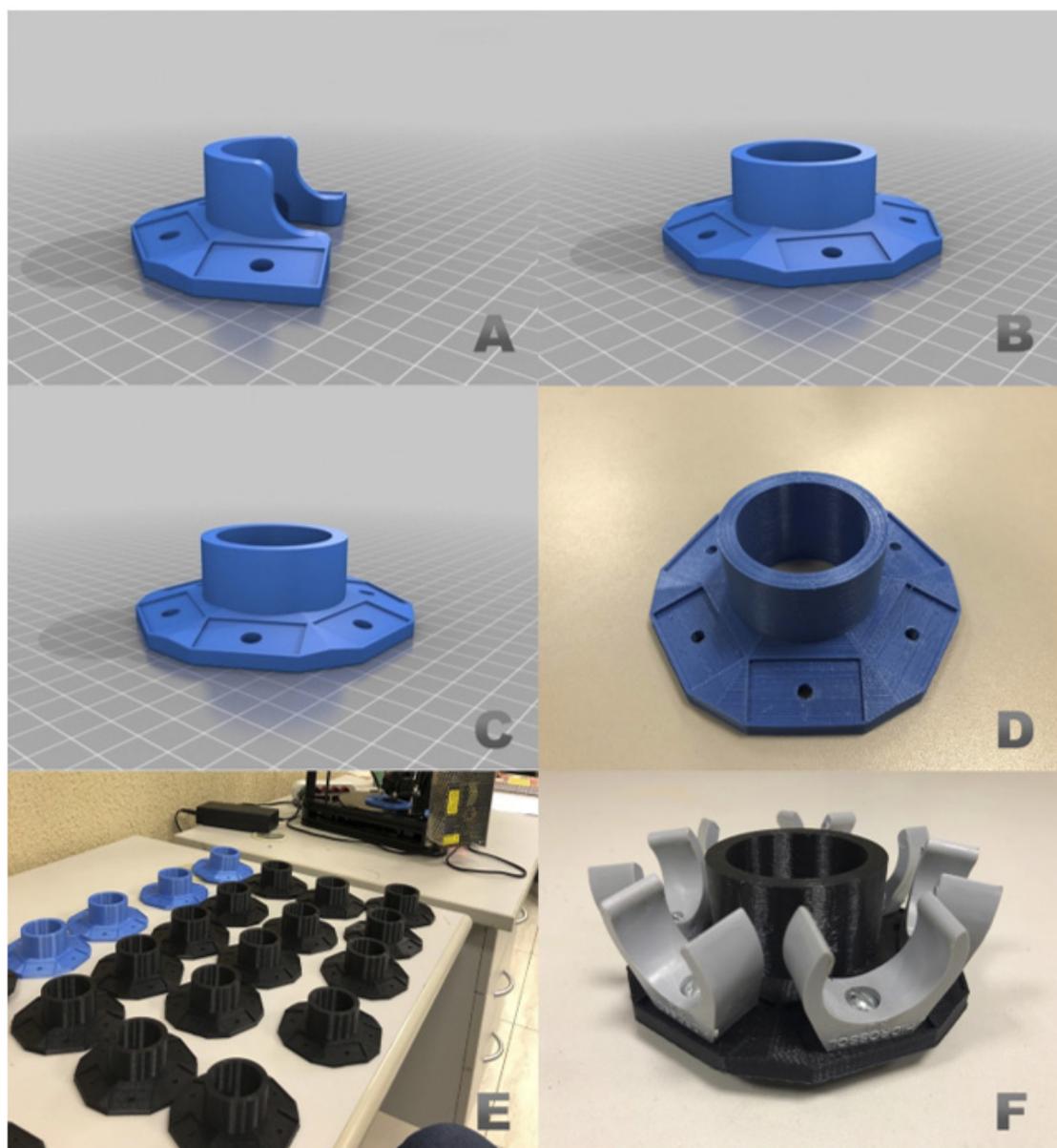


quando a pequena duração do curso e a complexidade que envolve o CAD para a realidade do ensino médio, incluímos na sequência didática a apresentação de alguns modelos de domo geodésico previamente desenhados, para que os alunos participantes do minicurso decidissem adotá-los na construção do modelo de citoesqueleto, sob supervisão dos professores participantes do projeto.

Portanto, para a confecção do domo geodésico, escolhemos um modelo pré-desenhado (thingiverse.com/thing:1001999) com conectores de seis, cinco e quatro pontas (Figura 3) e o

ajustamos para nossos propósitos. De igual modo, desenhamos no software Fusion 3D® abraçadeiras para a conexão de tubos de PVC, em caráter de teste (etapa sem a participação dos alunos), visto que o projeto adotado utilizou abraçadeiras comerciais de PVC. Tanto os conectores quanto as abraçadeiras foram impressos em uma impressora 3D do tipo Delta 3.0 com mesa aquecida, da marca PuzzleDynamics® (<https://www.puzzledynamics.com/>) (Figura 3). Ao todo, foram impressos 15 conectores de 4 pontas, 6 conectores de cinco pontos

Figura 3 – Modelos de conectores de quatro, cinco e seis pontas (A, B e C, respectivamente), obtidos em site específico sobre desenho e impressão em 3D (thingiverse.com/thing:1001999). Modelos impressos de cinco e seis pontas (D e E). Modelo montado com abraçadeiras de PVC comerciais (veja resultados e discussão) e parafusos (F).



tas e 40 conectores de seis pontas, além de 330 abraçadeiras para os tubos de PVC (Figura 3).

Para a confecção das hastes do citoesqueleto, desenhamos um domo geodésico do tipo 3V 3/5 no *software* SketchUp® e adotamos o PVC como material de sustentação, devido à sua resistência. Calculamos a quantidade de tubos de PVC necessários para a construção para um domo geodésico de 4m de diâmetro (30 tubos de 0,72 m, 55 tubos de 0,83 m e 78 tubos de 0,85 m). Para isso, adquirimos 24 tubos de 6 m de PVC branco (água) de $\frac{3}{4}$ e realizamos os cortes nas dimensões desejadas.

Design da membrana plasmática e das organelas internas

Para a confecção da membrana plasmática da célula, adotamos o diâmetro de 4 m para um modelo de domo 3V 3/5 e contratamos o serviço de confecção de um domo geodésico transparente com essas dimensões (<https://www.3dmediablog.com.br>). Ainda para simular organelas e moléculas internas de uma célula eucarionte, utilizamos bolas coloridas de piscina de bolinhas, balões, almofadas e puffs.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

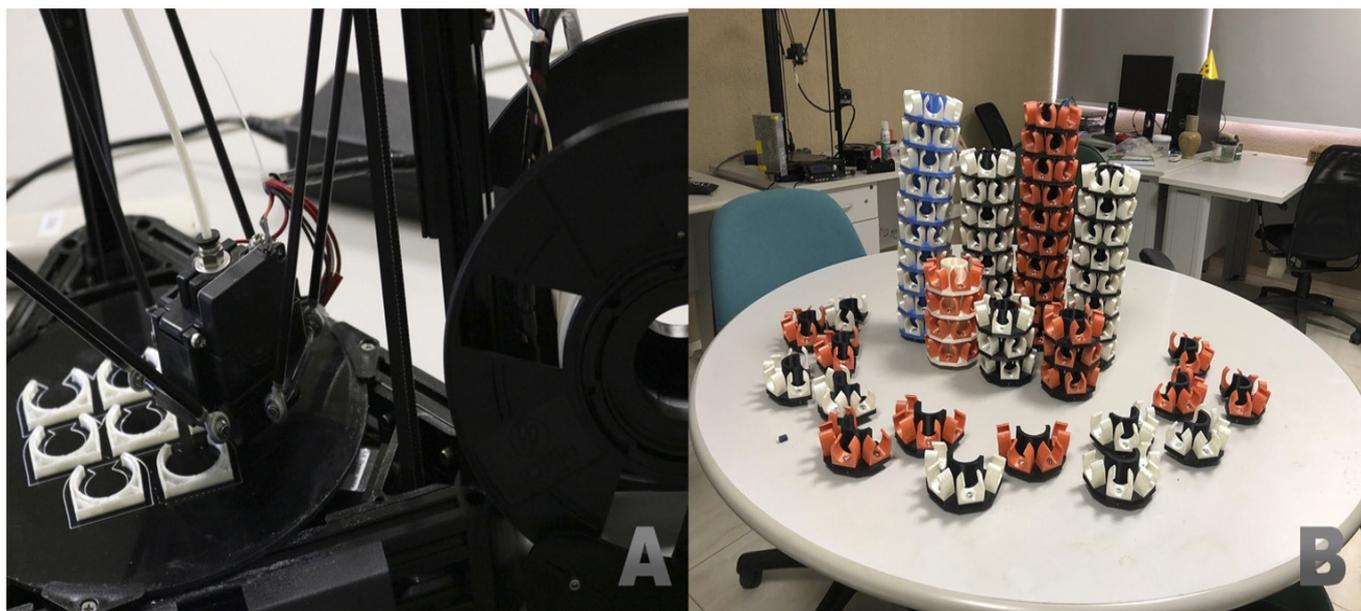
Foram feitos, no total, 105 impressões em impressora 3D para o projeto (61 para os conectores e 44 para as abraçadeiras).

(Figura 4), o que demandou cerca de 840 horas de impressão em ritmo normal (30mm/s), refletindo, em termos práticos, quatro meses de trabalho intenso. Após as impressões em uma aula prática, tentamos montar o domo geodésico com os alunos pela primeira vez, comparando-o com a realidade celular e destacando a importância dessa estrutura para a manutenção da forma e para a movimentação de organelas e das estruturas internas da célula. Contudo, as abraçadeiras impressas em impressora 3D não suportaram a sustentação da estrutura geodésica, quebrando por diversas vezes. Como alternativa, compramos 330 abraçadeiras de PVC (Figura 3F) e repetimos a montagem.

A segunda tentativa de montagem (utilizando abraçadeiras de PVC, e não mais as impressas em impressora 3D) apresentou resistência. Todavia, a estrutura não apresentou firmeza durante a montagem, liberando por diversas vezes os tubos de PVC quando tensionada. Como alternativa, nós (alunos e professores participantes) optamos por perfurar os tubos e as abraçadeiras de PVC com uma broca de furadeira (espessura de 3mm) e passar, através delas, “grampos” de nylon (Figura 5).

A terceira e última tentativa foi exitosa, sendo inclusive exposta durante a SEACITEC do ano seguinte, juntamente com o modelo de membrana celular. Durante a confecção percebemos que a estrutura apresentou firmeza e as tensões geradas foram equilibradas a cada momento que a estrutura ganhava forma. Uma de nossas dúvidas iniciais do projeto era se as es-

Figura 4 – Impressão das abraçadeiras desenhadas neste estudo (A) e montagem final de todos os conectores com abraçadeiras (61 conectores e 330 abraçadeiras no total). Notar que essas abraçadeiras não foram as utilizadas no momento final de montagem, pois elas não aguentaram as forças aplicadas pela estrutura).



truturas produzidas na impressora 3D conseguiriam suportar a força das tensões do domo geodésico, o que se provou positivamente quando considerado o peso da própria estrutura (Figura 5). A estrutura ficou montada por mais de dois meses no IFB, *Campus Samambaia*, para avaliar sua sustentação e resistência diante das condições ambientais de insolação e variação de temperatura e umidade, não evidenciando danos estruturais significativos. Colocamos ainda um *banner* explican-

do a natureza do projeto e as relações dessa construção com a matemática, a engenharia, a tecnologia, o *design* e a biologia, conforme a proposta STEAM, para que alunos e professores de outros cursos compreendessem a proposta do projeto. Essa forma de apresentação dos resultados em um evento, para toda a comunidade escolar, é uma das formas sugeridas para apresentação de resultados de projetos disciplinares em currículos escolares essencialistas (MARQUES, 2009), sendo adotada

Figura 5 – Construção do domo geodésico com a participação ativa de alunos, durante a SEACITEC 2019 (A a D). Domo construído e detalhe do banner explicando a proposta do projeto para a comunidade de estudantes (E). Montagem da cúpula representativa da membrana plasmática (F).



por nós. Por questões estruturais, a membrana plasmática foi montada nesse momento ao lado da estrutura em PVC, visto que não realizamos nenhum cálculo estrutural nem testamos a resistência das estruturas para sabermos se ela seria capaz de sustentar também o peso do balão inflável quando vazio (Figura 5).

Em um segundo momento, fizemos a montagem de toda a estrutura geodésica dentro da membrana plasmática, duran-

te o CONECTAIF 2019, evento de integração das atividades dos diversos *campi* do Instituto Federal de Brasília. Durante o evento, muitas pessoas puderam entrar na “célula gigante” e interagir com ela, observando como seria uma célula vista de dentro (Figura 6). Muitos alunos dos cursos de ensino médio do IFB apresentaram imenso interesse pela proposta do projeto, bem como pelo seu conteúdo, que não é comumente visto em sala de aula. Alguns alunos perguntaram se a estru-

Figura 6 – Exibição da célula itinerante durante o CONECTAIF 2019, evidenciando a estrutura do citoesqueleto celular – representado pelo domo geodésico (A, B, C e D) –, bem como seu conteúdo interno (E e F).



tura poderia ser montada em outros lugares, como nos outros *campi* do IFB.

De uma maneira geral, a estrutura apresentou sustentação quando o balão inflável estava ligado. Entretanto, ela não aguentou o peso quando o balão ficava desligado por muitas horas, apresentando pontos de fratura (Figura 7). Potencialmente, o material plástico do balão também contribuiu para o enfraquecimento da estrutura, visto que ele permitiu um aumento considerável de temperatura durante os turnos matutinos de exposição, temperatura suficiente para deixar os conectores de PLA maleáveis novamente, e não rígidos (Figura 7). Isso

demonstra que os materiais impressos em PLA por impressora 3D não são resistentes quando submetidos a uma tensão e/ou temperatura superiores, devendo ser utilizados apenas para prototipagem, o que é um dos objetivos principais da impressão 3D. Assim, novos materiais precisam ser utilizados para a proposta de construção com impressão 3D. Em pesquisa para materiais alternativos, propomos o uso de filamentos de vinil para a impressora 3D, bem como mudança de metodologia para usinagem com nylamid® (alternativas não implementadas nesse estudo).

Figura 7 – Problemas estruturais evidenciados durante a apresentação do projeto no CONECTAIF 2019: mudança de forma de conectores feitos em impressora 3D com material PLA (A), rasgos por mau uso na estrutura plástica (B) e perda da estrutura de uma forma geral, por conta do alto peso da estrutura plástica (C).



Resultados Qualitativos das Turmas Participantes do Projeto

Aplicamos esse projeto em uma turma do ensino médio do primeiro ano de Controle Ambiental no ano de 2018. Como o processo de impressão e montagem se alongou mais que o esperado (mais de quatro meses), ele acabou se estendendo para alunos de outras turmas no ano seguinte. A primeira turma apresentou interesse e engajamento na execução do projeto. Houve mais contato professor-aluno durante as primeiras tentativas de montagem, mesmo com a estrutura não sendo montada na primeira vez. Notaram-se, ainda, resultados intangíveis ou indiretos na análise das primeiras montagens e na proposição de soluções alternativas de montagem pelos próprios alunos. De maneira geral, a turma foi considerada mais comprometida e engajada com o aprendizado de citologia (contudo, afirmamos que não foi realizada nenhuma análise estatística comparando a turma antes e depois do experimento). É possível que atividades desse tipo despertem interesse nos alunos pelo novo, de forma que isso gere maior motivação para o aprendizado de biologia ou de outras matérias (GUIMARÃES; BORUCHOVITCH, 2004).

Para a turma de primeiro ano de 2019, notou-se engajamento de diversos alunos do começo ao fim da montagem da estrutura, refletindo compreensão sobre o assunto tratado e sobre sua importância tanto para o contexto profissional quanto para a Biologia. Destaco que muitos alunos participaram ativamente do projeto e da montagem durante o ano de 2019 sem que precisássemos convocá-los para a montagem. Pelo contrário, eles se engajaram, participaram das atividades e muitas vezes demonstraram liderança na construção do projeto. Como resultado, os próprios alunos ajudaram na proposição de alternativas de montagem de maior sucesso. Vale ressaltar que alguns desses alunos eram considerados “desmotivados” por alguns professores dentro do formato de sala de aula tradicional. Sabemos que o formato tradicional de escola e de currículo não beneficia toda a comunidade escolar, mas favorece apenas um grupo social detentor de capital cultural e socioeconômico específico (BOURDIEU; PASSERON, 1992), de forma que um projeto como esse pode trazer benefícios para uma gama maior de alunos que estão à margem da aprendizagem por estudarem com base em metodologias de ensino tradicionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentamos aqui uma proposta de utilização da impressora 3D no ambiente escolar de ensino médio, para um

assunto específico de biologia (citoesqueleto celular), em uma abordagem STEAM. Apesar do projeto ter sido concluído com êxito, apresentamos algumas vantagens e desvantagens do uso das técnicas de *design* e impressão em 3D para o projeto. Primeiramente, apesar da proposta STEAM e da concepção de uma sequência didática para a proposta, acreditamos que o tempo destinado para a capacitação dos estudantes no uso dos programas de *design* em 3D foi insuficiente para que eles próprios conseguissem criar seus próprios modelos de citoesqueleto. Ademais, mesmo com a participação intensa de alunos no processo de impressão em 3D das peças, esse processo demorou muito mais do que o esperado. Tivemos, portanto, que continuar com o projeto por mais um ano, incluindo outras turmas no projeto. Fora isso, outros problemas foram surgindo ao longo do projeto, como a sustentação da estrutura montada e o efeito do calor no derretimento das peças durante a exposição. Foram inúmeros percalços nada convencionais para a realidade de um ano letivo do ensino médio. Contudo, mesmo com todos esses problemas, as soluções apresentadas foram interessantes, contribuindo para o êxito do projeto. Considerando que o meio científico lida constantemente com a tentativa e o erro para novas descobertas ou para a criação de soluções inovadoras, acreditamos que essas desvantagens do projeto criaram um ambiente similar ao enfrentado por muitos pesquisadores no meio científico, sendo, portanto, uma experiência válida. Ademais, acreditamos que a proposta pode ser exequível de forma mais fácil se planejada para um modelo celular de tamanho menor e se forem utilizadas ferramentas de *design* em CAD mais amigáveis (ex.: TinkerCAD®, www.tinkercad.com).

Uma outra ressalva acerca do projeto é que, apesar de sua utilidade, a impressão 3D não pode ser considerada como um fim educacional em si mesmo, mas como uma ferramenta para a aprendizagem. Estudos sugerem que o simples ensino utilizando impressora 3D não traz mais ganhos significativos de aprendizagem (NOVAK; WISDOM, 2018), mas que ela é um elemento motivador capaz de despertar os alunos para a área de ciência e tecnologia e também para a eficácia na educação (NOVAK; WISDOM, 2018). Mesmo com a associação da matemática, da biologia e das tecnologias (*design* e impressão em 3D), notamos que essa abordagem precisa ser muito bem planejada, de forma a promover a aprendizagem significativa. Em outras palavras, a inclusão dessa tecnologia em sala de aula sem um planejamento claro e que inclua uma quantidade significativa de horas para o ensino (dos professores e dos alunos), além de discussão e *design* criativo de soluções para os problemas levantados, não atingirá o objetivo proposto de in-

tegração de disciplinas para uma aprendizagem mais profunda e crítica. Dessa forma, a explicação do uso da ferramenta da impressão 3D precisaria ficar muito bem ancorada ao conteúdo a ser abordado.

Apesar de todo o potencial, pesquisas acerca da integração da impressão 3D no contexto educacional são extremamente esparsas, sobretudo no Brasil. Existem inúmeras barreiras para a inclusão da impressão 3D como ferramenta educacional. Entre elas, destacamos a capacitação do professor para usá-la e aplicá-la em contexto de sala de aula. O professor estadual e municipal muitas vezes é horista, com carga horária cheia (entre 30 e 40 horas exclusivas em sala de aula) e culturalmente moldado em uma prática preponderantemente expositiva, e isso inviabiliza qualquer projeto que envolva planejamento, tempo de execução e avaliação, sobretudo com tecnologias mais recentes (robótica, programação e impressão 3D). Toda essa estrutura educacional atual inviabiliza o trabalho colaborativo e a proposição de atividades tipo STEAM, de forma que o treinamento para o uso da tecnologia do *design* e impressão 3D precisa também estar associado ao treinamento para o trabalho integrado com outras disciplinas. Acreditamos que a simples disponibilidade de uma impressora 3D não é suficiente para que professores utilizem seu potencial em sala de aula. Ela deve ser combinada com o conteúdo, fundamentada na prática de desenvolvimento apropriada e integrada sistematicamente na formação dos novos professores (SULLIVAN; MCCARTNEY, 2017).

Apesar da quantidade de estudos que aplicam as tecnologias de impressão 3D no ambiente escolar ainda ser incipiente, acreditamos que ela está intimamente alinhada com os objetivos do ensino médio (BRASIL, 2018), sobretudo para o ensino médio tecnológico (IFs). Essa tecnologia pode engajar estudantes em práticas que estão na interseção da engenharia, da tecnologia, e das aplicações da ciência, promovendo interações entre diversas disciplinas. Acreditamos que ela também é uma ferramenta para a promoção da motivação na educação e, potencialmente, um agente facilitador da aprendizagem. Esperamos que novos estudos que apliquem essa tecnologia no ensino médio, avaliando-as, sejam mais frequentes na realidade brasileira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Brasília (IFB) pelo apoio na execução desse estudo, por meio do financia-

mento da pesquisa pelos editais 005/RIFB, de 02 de março de 2016 (PROGRUPOS 2016), e 17/RIFB 2019 (Festival de Arte e Cultura 2019). Agradecemos a diversos alunos do ensino médio e estudantes de licenciatura que contribuíram com a construção do citoesqueleto, com destaque a Diego Araújo Ferreira e Luiza Ribeiro de Vasconcelos, estudantes de biologia do campus Planaltina.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; ROBERTS, K. *et al.* **Molecular biology of the Cell**. New York: GS Garland Science, Taylor & Francis Group, 2008. 1.725 p.
- BOURDIEU, P.; PASSERON, J. C. **A reprodução: elementos para uma teoria do sistema de ensino**. Rio de Janeiro: Editora Francisco Alves, 1992.
- BRASIL. **PCN + Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília/DF: MEC-SEMTEC, 2002. 144 p.
- BRASIL. **Lei nº 11.892, de 29 de Dezembro de 2008**. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil, p. 10.
- BRASIL. **Base nacional comum curricular**. Brasília/DF, Brasil: Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica, 2018. 600 p.
- GIASSI, M. G. **A contextualização no ensino de Biologia: um estudo com professores de escolas da rede pública estadual do município de Criciúma-SC**. 2009. 261 p. (Dissertação de Mestrado). Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- GROSS, B. C.; ERKAL, J. L.; LOCKWOOD, S. Y.; CHEN, C. *et al.* Evaluation of 3D Printing and Its Potential Impact on Biotechnology and the Chemical Sciences. **Analytical Chemistry**, 86, n. 7, p. 3240-3253, 2014/04/01 2014.
- GUIMARÃES, S. É. R.; BORUCHOVITCH, E. O Estilo motivacional do professor e a motivação intrínseca dos estudantes: uma perspectiva da teoria da autodeterminação. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, 17, n.

2, p. 143-150, 2004.

MA, Y.; XIE, L.; YANG, B.; TIAN, W. Three-dimensional printing biotechnology for the regeneration of the tooth and tooth-supporting tissues. **Biotechnology and Bioengineering**, 116, n. 2, p. 452-468, 2019.

MARQUES, R. **Currículo nacional e autonomia curricular: os modelos de E.D. Hirsch e Ted Sizer**. Disponível em: <http://www.eses.pt/usr/ramiro/Cnauto.htm>. 2009. Acesso em: 01/06/2020.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, 1, n. 3, p. 25-46, 2011.

NOOR, N.; SHAPIRA, A.; EDRI, R.; GAL, I. *et al.* 3D Printing of Personalized Thick and Perfusable Cardiac Patches and Hearts. **Advanced Science**, 6, n. 11, p. 1900344, 2019.

NOVAK, E.; WISDOM, S. Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science. **Journal of Science Education and Technology**, 27, n. 5, p. 412-432, October 01 2018. journal article.

OBEROI, G.; NITSCH, S.; EDELMAYER, M.; JANJÍČ, K. *et al.* Materializing! What Can Dentists Do With 3D Printers? **Frontiers for Young Minds**, 7, p. 88, 2019.

PELIZZARI, A.; KRIEGL, M. D. L.; BARON, M. P.; FINK, N. T. L. *et al.* Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **Revista PEC, Curitiba**, 2, n. 1, p. 37-42, 2002.

RENGIER, F.; MEHNDIRATTA, A.; VON TENGG-KOBLIGK, H.; ZECHMANN, C. M. *et al.* 3D printing based on imaging data: review of medical applications. **International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, 5, n. 4, p. 335-341, July 2010.

SANTOS, D. B. D.; INFANTE-MALACHIAS, M. E. Utilização do modelo didático analógico (MDA) no ensino de ciências: uma experiência sobre a estrutura da Terra. **Experiências de Ensino de Ciências**, 8, p. 20-27, 2013.

SILVA, F. S. S. D.; MORAIS, L. J. O.; CUNHA, I. P. R. Dificuldades dos professores de biologia em ministrar aulas práticas em escolas públicas e privadas do município de Imperatriz (MA). **Revista UNI**,

1, n. 1, p. 135-149, 2011.

SOLTYS, B. J.; GUPTA, R. S. Interrelationships of endoplasmic reticulum, mitochondria, intermediate filaments, and microtubules – a quadruple fluorescence labeling study. **Biochemistry and Cell Biology**, 70, n. 10-11, p. 1.174-1.186, 1992.

SULLIVAN, P.; MCCARTNEY, H. Integrating 3D printing into an early childhood teacher preparation course: Reflections on practice. **Journal of Early Childhood Teacher Education**, 38, n. 1, p. 39-51, 2017.

VACCAREZZA, M.; PAPA, V. 3D printing: a valuable resource in human anatomy education. **Anatomical Science International**, 90, n. 1, p. 64-65, January 01 2015. journal article.

YAKMAN, G.; LEE, H. Exploring the exemplary STEAM Education in the U.S. as a practical educational framework for Korea. **Journal of The Korean Association For Science Education**, 32, n. 6, p. 1.072-1.086, 08/31 2012.

CURRÍCULOS

* Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas, Mestre e Doutor em Ecologia (Universidade de Brasília). Conduz mestrado em Gestão Educacional pelo Instituto Politécnico de Santarém - Portugal. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília – IFB, Campus Samambaia. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9292278627119050> ResearchGate: https://www.research-gate.net/profile/Roger_Ledo2

** Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Geotecnia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília – IFB, Campus Samambaia. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1625117864208746>