

A impressão 3D no contexto da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel: fundamentos para o ensino das ciências da natureza

DOI: <https://doi.org/10.33871/23594381.2026.24.2.12252>

Elvis Pedro da Silva¹, Shalimar Calegari Zanatta², Rafael Mestrinheire Hungaro³, Bruna Marques Duarte⁴

Resumo: A impressão 3D vem sendo utilizada no processo ensino e aprendizagem de Química, Biologia e Física de forma crescente desde 2019. A literatura tem mostrado que, o crescimento se deu principalmente no ensino superior, porém não podemos ignorar o crescente número desses equipamentos nas escolas da educação básica. Por outro lado, observa-se que o referido recurso tem sido utilizado, majoritariamente, para reposição de materiais didáticos e reprodução de materiais para alunos com baixa visão. Esse ensaio teórico discute a importância de o professor adotar um pilar teórico para não correr o risco de utilizar esse recurso como parte de uma ‘pirotecnica pedagógica’. Nesse contexto, mostramos a possibilidade de utilizar a impressão 3D como um Organizador Prévio (OP), como previsto pela Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, conhecida abreviadamente por TAS, articulando esta teoria com a dos Registros de Representação. Como resultado final, recomenda-se que a prática docente, a experimentação planejada e intencional da impressão 3D seja alicerçada numa teoria de aprendizagem com objetivos de aprendizagem claros e organizados.

Palavras-chaves: Alfabetização Científica; Aprendizagem Significativa; Impressão 3D.

3D printing in the context of Ausubel's meaningful learning theory: foundations for the teaching of natural sciences

Abstract: 3D printing has been increasingly used in the teaching and learning process of Chemistry, Biology, and Physics since 2019. The literature shows that this growth has occurred mainly in higher education, but we cannot ignore the increasing number of these devices in basic education schools. On the other hand, it is observed that this resource has been used primarily for the replacement of teaching materials and the reproduction of materials for students with low vision. This theoretical essay discusses the importance of teachers adopting a theoretical framework to avoid the risk of using this resource as part of ‘pedagogical pyrotechnics’. In this context, we show the possibility of using 3D printing as an Advance Organizer (AD), as foreseen by Ausubel's Theory of Meaningful Learning, known in short as TAS, articulating this theory with that of Representational Registers. As a final result, it is recommended that teaching practice, the planned and intentional experimentation with 3D printing, be based on a learning theory with clear and organized learning objectives.

Keywords: Scientific Literacy; Meaningful Learning; 3D Printing.

¹ Mestre em Ensino e Formação Docente pela Universidade Estadual do Paraná. Professor da Secretária Estadual do Paraná, PR, Brasil. elvispedro154@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-1321-8885>.

² Doutora em Física pela Universidade Estadual de Maringá. Professora Associada da Universidade Estadual do Paraná, PR, Brasil. shalicaza@yahoo.com.br, <https://orcid.org/0000-0003-0302-8300>.

³ Doutor em Matemática pela Universidade Estadual de Maringá. Professor Associado da Universidade Estadual do Paraná, PR, Brasil. rafaelhungaro@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7960-1890>.

⁴ Doutora em Educação para a Ciência e Matemática pela Universidade Estadual do Paraná. Professora Adjunta da Universidade Federal da Grande Dourados, MS, Brasil. brunaduarte@ufgd.edu.br, <https://orcid.org/0000-0003-0146-7502>.

Introdução

O processo ensino e aprendizagem formal das Ciências da Natureza e suas Tecnologias enfrentam desafios incomensuráveis. Além das complexidades que envolvem o próprio processo do ensino e da aprendizagem, há também os desafios inerentes e específicos a essa área do conhecimento humano.

O fato de vivermos numa sociedade imersa em tecnologias, cujo avanço dependeu e, ainda depende, das descobertas e aplicações científicas, não garante um ensino eficiente, motivador e significativo. Ou seja, os conceitos discutidos em sala de aula, não são compreendidos e utilizados, de forma eficaz, nas interpretações dos fenômenos naturais e tecnológicos. Pelo contrário, Bartelmebs; Venturi e Sousa (2021), observam crescimento dos movimentos pseudocientíficos, anticientíficos e negacionistas. Isso porque, esses movimentos desprezam ou distorcem fatos e evidências científicas em pró das premissas individualistas, crenças pessoais e opinativas. Um dos problemas é que essas crenças ganham representatividade nas decisões e comportamentos sociais. Segundo os referidos autores, a Educação em Ciências, como campo de pesquisa, precisa fundamentar-se e ocupar-se do desenvolvimento de estratégias teórico-metodológicas, políticas públicas e construção de currículos contextualizados que favoreçam compreensões sobre a Ciência e sobre o fazer Ciência.

Na mesma direção, Meira e Ribeiro (2023), apontam que existe um alto índice de analfabetismo científico no Brasil. Segundo as autoras, isso se deve a três fatores principais: i-processo de ensino e aprendizagem ineficaz; ii- modelo deficitário para a divulgação científica e; iii- a produção intencional da ignorância no âmbito político. Ou seja, promover um ensino de Ciências compatível com a Alfabetização Científica (AC) é um tema multifatorial e complexo que envolve vários personagens em diversos segmentos da sociedade. Ao focarmos apenas no processo ensino e aprendizagem, poderíamos elencar diversos fatores intervenientes, como a (des)valorização do professor, sua formação, inicial e continuada, autonomia, equívocos pedagógicos, entre outros. Esses fatores moldam a prática docente dentro da sala de aula. Como resultado, não é difícil intuir que a introdução de recursos tecnológicos, como óculos virtual, plataformas digitais, impressoras 3D, entre outros, no espaço escolar, possam ser utilizados de forma equivocada ou ‘pirotécnica’, em vez de promover a Alfabetização Científica, conforme preconizada por Sasseron e Carvalho (2011).

Nesse contexto, o reducionismo metodológico, o tecnicismo vazio ou o ativismo ingênuo esvaziam o conteúdo científico e desapropriam o professor de atuar como um agente transformador, conforme apontam Leão (1999), Duarte (2001) e Saviani (2011).

Por outro lado, sob o referencial da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel, conhecida abreviadamente por TAS, essa ‘pirotecnia pedagógica’ pode ser substituída por um conjunto de ações com objetivos educacionais específicos que direcionam o processo ensino e aprendizagem de Ciências, para uma aprendizagem significativa, compatível com a Alfabetização Científica.

Por sua vez, a Teoria dos Registros de Representação, desenvolvida por Duval (2013), oferece importantes contribuições para compreender como os estudantes constroem significados e se apropriam dos conceitos científicos.

Nesse horizonte, este estudo busca demonstrar como a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por Ausubel (1968), articulada à Teoria dos Registros de Representação (Durval, 2013), podem fundamentar o uso da impressão 3D como Organizador Prévio (OP) no ensino de Ciências. Para isso, a pesquisa explora as possibilidades no ensino de Física utilizando-se a impressão tridimensional (3D), tomando o estudo do pêndulo duplo como objeto de investigação.

A IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE CIÊNCIAS: ENTRE AS POTENCIALIDADES E A PIROTECNIA PEDAGÓGICA

A impressão 3D teve origem na década de 1980, quando uma empresa japonesa demonstrou a capacidade de produzir pequenos objetos tridimensionais, marcando o início do desenvolvimento da tecnologia conhecida como manufatura aditiva (Wishbox, 2023). Desde então, essa técnica passou por constantes avanços e ampliou significativamente suas aplicações, destacando-se especialmente na área da saúde, onde possibilita a reprodução precisa de estruturas anatômicas utilizadas no planejamento de procedimentos cirúrgicos complexos. Mais recentemente, a redução dos custos de equipamentos e materiais, impulsionada por iniciativas de hardware livre, favoreceu a popularização da impressão 3D e sua inserção no contexto educacional, consolidando tendências apontadas por relatórios internacionais de inovação no ensino (Johnson *et al.*, 2015).

Estudos de revisão indicam que as pesquisas sobre impressão 3D na Educação Básica brasileira ainda são incipientes. Previtera *et al.* (2024) identificaram apenas 17 publicações entre 2019 e 2024, enquanto Dos Santos *et al.* (2025) observaram que os estudos se concentram, principalmente na produção de materiais didáticos, recursos

acessíveis para estudantes com deficiência e apoio aos processos de ensino e aprendizagem. Além disso, a maior parte das aplicações ocorre no ensino superior, sobretudo nas áreas de Química e Biologia, com menor presença na Física. Segundo Pires e Vinholi Jr. (2022), embora as primeiras produções nacionais tenham surgido em 2014, o crescimento do tema está associado à expansão da cultura *maker* no Brasil.

No entanto, quando buscamos na literatura vigente, os pilares teóricos que embasam as metodologias de impressão 3D, sejam elas do ensino fundamental, médio ou superior, elas estão virtualmente ausentes. Exceção foi observada na dissertação de Débora Senra Amado (2022), que relata a abordagem dos conteúdos sobre virologia, para alunos do ensino médio da rede estadual do Rio de Janeiro, incluindo alunos com deficiência intelectual e dificuldades de aprendizagem, fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS), em Antoni Zaballa e John Dewey. Segundo a autora, foram desenvolvidos modelos físicos de vírus, de 4 morfologias distintas, impressos em filamento PLA, para tornar o conteúdo mais concreto. Como resultado, a autora aponta a necessidade de ampliação do uso da impressão 3D no ambiente escolar.

Porém, o processo de impressão 3D, principalmente no ensino fundamental e médio, é incipiente e mostra a tendência de se utilizar o recurso sem nenhum respaldo teórico, correndo o risco de se tornar uma metodologia representativa apenas, da ‘pirotecnia pedagógica’.

Para Farias (2022), o professor deve elaborar itinerários formativos ancorados na lógica da progressão conceitual, promovendo a articulação gradual entre distintos níveis de complexidade dos conteúdos curriculares. Nessa perspectiva, Moreira (2011) destaca que a escolha dos materiais de ensino deve ser pautada não apenas por sua relevância curricular, mas também, por sua capacidade de conectar-se à estrutura cognitiva pré-existente do aluno.

Essa compreensão dialoga com a Teoria dos Registros de Representação (Durval, 2013), uma vez que a construção de significados depende não apenas da relação entre os novos conhecimentos e aqueles já existentes na estrutura cognitiva do estudante, mas também, das formas pelas quais esses conhecimentos são representados. Segundo Henriques e Almouloud (2016), o acesso ao conhecimento não ocorre de forma direta, mas por meio de representações semióticas construídas a partir de diferentes sistemas de signos, como textos, gráficos, expressões matemáticas, imagens e modelos físicos. Nessa perspectiva, a compreensão de um conceito depende da capacidade do sujeito de

interpretar, relacionar e converter diferentes formas de representação de um mesmo objeto de conhecimento. Os referidos autores destacam que um mesmo fenômeno pode ser expresso por distintos registros semióticos, cada qual evidenciando aspectos específicos do objeto estudado. Assim, a aprendizagem torna-se mais consistente quando o estudante consegue transitar entre essas representações e estabelecer relações entre elas. No ensino de Física, por exemplo, conceitos podem ser representados por descrições verbais, equações, gráficos, simulações computacionais ou modelos tridimensionais, ampliando as possibilidades de compreensão e favorecendo a construção de aprendizagens significativas.

Assim, a incorporação efetiva dessa tecnologia ao currículo escolar deve superar diversas barreiras, tanto as metodológicas, quanto as financeiras e logísticas. A aquisição de impressoras 3D pelas escolas brasileiras, tem aumentado, assim, como o número de publicações sobre o tema, porém repetimos o agravante que esse aumento não está sendo acompanhado pelo aumento dos subsídios teóricos-metodológicos que garantirão o uso adequado do equipamento.

A democratização do acesso à impressão 3D passa, necessariamente, pela formulação de políticas públicas que estimulem a aquisição de equipamentos, a produção de materiais didáticos de código aberto e a capacitação do professor voltada ao uso pedagógico da tecnologia.

A impressão 3D representa um avanço relevante para a didática no ensino das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, configurando-se como uma via promissora para uma educação mais interativa, inclusiva e eficaz. A superação dos entraves, como já apontados, dependerá de um esforço colaborativo entre pesquisadores, educadores, formuladores de políticas públicas e representantes da indústria. A continuidade das pesquisas e o compartilhamento de experiências exitosas serão fundamentais para consolidar a impressão 3D como ferramenta pedagógica eficaz para a educação científica a qual se deseja.

A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL (TAS), E OS ORGANIZADORES PRÉVIOS (OPS)

Uma teoria de aprendizagem representa um conjunto ou modelo de princípios que tenta explicar como as pessoas aprendem, ou seja, como adquirem novos comportamentos, habilidades ou conhecimento. Nesse sentido, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), elaborada por David Ausubel (1918–2008), descreve como ocorre a aprendizagem dentro da sala de aula. Trata-se de uma teoria substantiva, não-arbitrária,

idiossincrática, hierárquica, progressiva e integradora. Substantiva porque a aprendizagem deve ocorrer pela compreensão da essência do conceito e não pela reprodução da palavra que o representa. Se você mudar a forma de perguntar, o aluno ainda assim deverá responder. Isso porque ele entendeu a ideia, e não apenas decorou uma frase. Além disso, ela é não-arbitrária porque o novo conhecimento se conecta a pontos específicos e relevantes já existentes na mente do aluno (os subsunçores). Também é idiossincrática porque é única e pessoal, pois a compreensão do aluno depende da sua bagagem individual.

A aprendizagem ainda é hierárquica porque o conhecimento se organiza de forma piramidal, onde conceitos mais gerais e inclusivos ficam no topo, sustentando conceitos mais específicos. É progressiva porque a aprendizagem será facilitada se os conceitos mais gerais forem apresentados antes dos mais específicos. É integradora porque os alunos devem perceber semelhanças ou diferenças entre o que estão aprendendo agora e o que já sabiam, reorganizando sua estrutura mental para que as informações não fiquem confusas ou contraditórias.

A aprendizagem resultante desse processo é definida por Ausubel (1968) como aprendizagem significativa. Para adquiri-la Ausubel reconhece a importância do professor, por exemplo, em apresentar materiais potencialmente significativos e, do desejo de aprender do aluno. Ou seja, identificar o conhecimento prévio do aluno, sobre o tema a ser abordado, é essencial para promover a aprendizagem do tipo significativa. De fato, a frase de capa do livro de Ausubel é: “descubra o que o aluno já sabe e o ensine de acordo” (Ausubel, 1968). Assim, podemos dizer que o tripé formado pela identificação dos subsunçores (conhecimento prévio) e elaboração de um material potencialmente significativo, pelo professor, e o desejo de aprender do aluno, formam a base para a ocorrência da aprendizagem significativa (Moreira; Masini, 1982).

Considerar ou não, o que o aluno já sabe é o ponto crucial que divide a pedagogia em tradicional ou construtivista. Apesar de não ser esse o escopo desse trabalho, é importante que se esclareça que existe uma confusão, entre os professores, sobre a interpretação das teorias de aprendizagem cognitivistas e os métodos de ensino adotados. Explicando melhor, os professores tendem a confundir uma teoria da psicologia que descreve os processos cognitivos de como ocorre a aprendizagem com uma prescrição pedagógica de como se deve ensinar (Coll, 2006).

Voltando a enfatizar sobre a importância que o conhecimento prévio ou subsunçores têm, para a TAS, na ausência desses, o professor deve fornecer os conceitos

mais básicos ou mais gerais por meio de materiais introdutórios, denominados Organizadores Prévios (OPs). Os OPs funcionam como pontes cognitivas entre o que o aluno já sabe e o que precisa aprender. Os organizadores mais eficazes são aqueles que usam conceitos, termos e proposições que já são familiares aos alunos, bem como ilustrações e analogias apropriadas.

O OP não antecipa conteúdos novos, mas facilita tecer relacionamentos lógicos entre eles e a estrutura cognitiva existente. Eles podem ser divididos de acordo com a forma de aplicação. Quando apresentados antes do material principal de aprendizagem, são definidos como pré-organizadores e, são mais eficazes do que os pós-organizadores (Ausubel, 2000). Também podem ser divididos em expositivos e comparativos. Os expositivos são usados com conteúdos novos, relativamente desconhecidos, de forma a fornecer subsunçores relevantes. No caso de material de aprendizagem relativamente familiar, podem ser empregados organizadores prévios comparativos, que auxiliam na discriminação entre as ideias novas e as já existentes na estrutura cognitiva do aluno.

No entanto, a reconhecida abstração e ambiguidade dos OP é um tema recorrente na literatura. Para Moreira (2011), um dos maiores divulgadores da TAS no Brasil, a definição de Ausubel para os OPs é aberta demais. Ele aponta que a falta de diretrizes específicas sobre o que constitui um material "em nível mais alto de abstração e generalidade" leva muitos professores a criarem materiais que não funcionam como pontes, mas sim, como obstáculos. Além disso, o referido autor, em Moreira (2008), aponta que o OP só funciona se o aluno tiver a predisposição para aprender, um ponto muitas vezes negligenciado na literatura técnica.

Assim, defendemos aqui que uma possível saída é iniciar a abordagem de um tema específico no seu mais alto grau de generalização e que seja motivacional, que desperte, no aluno, o desejo de aprender. Nessa perspectiva, o planejamento pedagógico deve privilegiar a apresentação de conceitos amplos e inclusivos, os quais atuam como fundamentos conceituais para a compreensão dos tópicos subsequentes.

Desse modo, os conteúdos devem ser desdobrados gradualmente, avançando para níveis crescentes de detalhamento e especificidade, o que favorece o aprofundamento do conhecimento e a reconfiguração contínua das estruturas cognitivas do aprendiz. Esse movimento contribui para a construção de um saber articulado, hierarquizado e coerente, promovendo, assim, a consolidação de aprendizagens verdadeiramente significativas. (Farias, 2022). Essa ação pedagógica do professor é conhecida pelo chamado princípio

da diferenciação progressiva e configura-se como elemento estruturante na organização didática dos conteúdos curriculares.

Além da diferenciação progressiva, o professor também deve promover a reconciliação integrativa. Ela consiste em um processo pedagógico que visa promover a articulação coerente entre proposições e conceitos, já consolidados ou recém-introduzidos. Tal abordagem implica na identificação e análise crítica de semelhanças e distinções conceituais relevantes, bem como a resolução de possíveis inconsistências, sejam elas aparentes ou efetivas.

Na Teoria da Aprendizagem Significativa, a aprendizagem ocorre por meio da articulação entre a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, processos que permitem a reorganização dos conhecimentos prévios à luz de novas informações, favorecendo a construção de estruturas conceituais mais coerentes e significativas (Farias, 2022). Diferentemente da aprendizagem mecânica, caracterizada pela simples memorização de conteúdo sem estabelecimento de relações conceituais, a aprendizagem significativa exige a participação ativa do estudante na atribuição de significados, realizando conexões entre os novos conhecimentos e aqueles já presentes em sua estrutura cognitiva, embora isso não implique, necessariamente, a adoção de metodologias ativas de ensino.

Ao professor cabe o planejamento de um material didático potencialmente significativo e motivador para que o aluno faça as devidas relações. Conforme a TAS, em algumas ocasiões, é necessário realizar a aprendizagem mecânica antes da aprendizagem significativa. Embora a aprendizagem significativa seja o fim e o objetivo maior, ambas as aprendizagens fazem parte de um continuum do processo de aprendizagem.

A aprendizagem por recepção significativa é favorecida por um material didático potencialmente significativo, ou seja, ele deve estabelecer uma relação do tipo “substantiva” e “não-arbitrária” entre o novo conteúdo e a estrutura cognitiva do aluno. Diante disso, devemos entender que uma relação do tipo substantiva entre o aluno e o material de aprendizagem (potencialmente significativo), equivale a uma interação de natureza pessoal e intencional, ou seja, o aluno deve querer aprender, como já apontado aqui.

Desta forma, podemos dizer que o problema principal para promover a aprendizagem significativa consiste na apresentação de um corpo organizado de conhecimento que provocam modificações dos subsunçores. Assim, o problema da

aprendizagem em sala de aula, está na escolha e utilização de uma sequência de recursos ou conceitos que facilitem a aprendizagem do tipo significativa.

Neste caso, a interação verbal do professor não necessariamente promove uma aprendizagem mecânica ou do tipo bancária, conforme criticado por Paulo Freire (2018), desde que sejam estabelecidos vínculos cognitivos significativos. Segundo Ausubel (2002) a aprendizagem por recepção significativa deve ser considerada ativa, porque exige no mínimo três ações do aluno: analisar os aspectos mais relevantes da estrutura do novo material apresentado; fazer uma reconciliação entre as ideias existentes na sua estrutura cognitiva e as ideias propostas pelo professor; reformulação do conceito de forma idiossincrática, ou seja, adaptar o seu conhecimento que lhe é particular, ao conceito apresentado.

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de abordagem qualitativa Minayo (2014), de natureza teórica e exploratória, na qual utilizou a reflexão sobre o experimento do pêndulo duplo, tomando-o como exemplo para discutir as contribuições da impressão 3D na materialização de conceitos abstratos e na articulação entre diferentes registros de representação. A partir do referencial teórico selecionado, foram examinadas as possibilidades de utilização de modelos tridimensionais impressos como Organizadores Prévios, capazes de favorecer a aprendizagem significativa e a compreensão de fenômenos físicos complexos.

A análise dos dados ocorreu de forma interpretativa, buscando identificar aproximações entre os referenciais teóricos estudados e as potencialidades pedagógicas da impressão 3D para o ensino de Física.

A IMPRESSÃO 3D PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE FÍSICA: O CASO DO PÊNDULO DUPLO COMO UM OP

Como dito antes, a ausência de subsunçores impede ou inibe o processo de aprendizagem significativa. Para resolver tal problema, Ausubel propõe o uso de OP que são materiais introdutórios que antecedem os conteúdos a serem aprendidos, tratando-os de maneira genérica.

Os OPs ajudam a aprendizagem significativa por salientarem aos alunos informações com as quais já tenham familiaridade e que servirão como substrato para a assimilação do material novo. No caso do ensino de Física, existe uma dificuldade com conceitos abstratos ou pouco intuitivos, como é o caso de modelos matemáticos de diversos fenômenos. Muitos conteúdos envolvem também processos dinâmicos que são

ilustrados e discutidos por meio de representações estáticas, como figuras e diagramas em livros e no quadro. Essas representações podem trazer dois problemas aos alunos. O primeiro, é exigir esforços de abstração e a dificuldade de manter o foco de atenção em algo não palpável. Segundo, há, em geral, uma dificuldade dos estudantes para fazer a relação entre, por exemplo, um termo de uma equação e um elemento concreto de um fenômeno físico. Isso pode levar a consequências como uma compreensão superficial do conteúdo e alunos que não conseguem generalizar além de situações discutidas em sala.

As articulações entre a intenção pedagógica e o uso da impressão 3D revelam um caminho promissor para o aprofundamento da compreensão de conceitos físicos, como por exemplo, o pêndulo duplo. Os modelos impressos em 3D funcionam como registros de representações concretas que complementam e enriquecem os registros algébricos, gráficos e verbais. A capacidade de transitar entre diferentes registros, por exemplo, da equação diferencial, que descreve o movimento do sistema até a visualização do mesmo. Para Durval (2013), visualizar o movimento é um indicador fundamental para a compreensão conceitual. Assim, a manipulação de objetos tridimensionais permite ao estudante estabelecer conexões mais robustas entre fórmulas matemáticas e propriedades físicas subjacentes, facilitando a articulação entre os registros de representação.

No estudo do pêndulo duplo, a impressão desse objeto, o manuseio e observação, antes da apresentação dos conceitos, oferece uma oportunidade singular para a exploração do comportamento dele que, tradicionalmente, seria abordado por meio de simulações computacionais ou equações complexas. Com o modelo físico impresso, os estudantes podem observar, explorar e conectar.

Observar o comportamento caótico em tempo real, identificando como pequenas variações nas condições iniciais como o ângulo de soltura, resultam em trajetórias distintas, evidenciando a sensibilidade do sistema. Essa observação direta constitui um registro experimental fundamental para a construção de uma intuição sobre o fenômeno do caos. Explorar as propriedades do sistema, manipulando o modelo e variando parâmetros como o comprimento das hastes e das massas, investigando como essas alterações afetam o movimento. Essa interação tátil configura um registro concreto que complementa a análise teórica dos registros simbólicos. Ademais, ao conectar diferentes representações, a partir da observação do movimento do pêndulo duplo, os alunos podem ser desafiados a descrever verbalmente os fenômenos (registro verbal), elaborar gráficos de posição versus tempo (registro gráfico) e relacionar essas observações às equações do movimento (registro simbólico). Essa coordenação entre registros, conforme proposto por

Durval (2013), é essencial para uma compreensão profunda e integrada. A interação com o objeto concreto gera uma riqueza de dados sensoriais que podem ser interpretados e convertidos em outros registros, facilitando a construção de significados de conceitos como energia, momento angular e a natureza não linear dos sistemas dinâmicos (Peirce, 1975; Flores; Moretti, 2008).

Além disso, o processo de projetar e imprimir o pêndulo duplo envolve o uso de *softwares* de modelagem 3D, como *Thinkercad* e *Blender*, promovendo o engajamento ativo dos alunos e o desenvolvimento do pensamento computacional. Os estudantes são desafiados a traduzir as especificações de um sistema físico para um modelo digital, o que exige compreensão profunda de suas propriedades e relações. Essa atividade de modelagem constitui uma manipulação de símbolos digitais que culmina na criação de uma representação materializada. A experiência vivida no projeto, ao transformar ideias em objetos físicos, reforça o processo de ensino-aprendizagem, estimulando a criatividade e a resolução de problemas (Cortez, 2020).

Nesse contexto, a Teoria dos Registros de Representação, proposta por Durval (2013), oferece ferramentas conceituais valiosas para analisar como os conceitos físicos são representados e compreendidos. A capacidade de transitar e converter entre diferentes formas de representação é um indicador crucial para a compreensão conceitual. A aplicação dessa teoria permite identificar dificuldades de aprendizagem e desenvolver estratégias didáticas que promovam a flexibilidade cognitiva necessária para a apropriação dos conceitos, especialmente aqueles que envolvem fenômenos complexos (Lima, 2019; Gomes; Echeverría, 2011).

Nessa perspectiva, torna-se relevante a utilização de recursos pedagógicos que ampliem as possibilidades de representação dos fenômenos físicos, favorecendo a conversão entre diferentes registros e a construção de significados pelos estudantes. Assim, a impressão 3D apresenta-se como um recurso inovador, capaz de materializar o abstrato e oferecer uma experiência tátil e visual única no processo de aprendizagem em Física. Ao transformar modelos digitais em objetos físicos, a impressão 3D, constitui um novo registro de representação, concreto e complementar aos demais. Essa sinergia entre o concreto e o abstrato, não apenas aprofunda a compreensão dos conceitos, como também estimula o pensamento computacional, a criatividade e a resolução de problemas, competências essenciais para a formação de sujeitos críticos e autônomos (Felix, 2016; Cortez, 2020).

Nesse contexto, o modelo físico do pêndulo duplo pode ser compreendido como um OP, na medida em que antecede a apresentação formal dos conceitos e possibilita aos estudantes a construção de significados iniciais sobre o fenômeno estudado. A observação do movimento, a manipulação do sistema e a exploração de diferentes condições experimentais ativam conhecimentos prévios e produzem subsunçores capazes de ancorar conteúdos mais complexos. Dessa forma, o experimento não assume apenas uma função demonstrativa, mas constitui um elemento mediador entre a experiência concreta e a compreensão conceitual, favorecendo a aprendizagem significativa como proposta por Ausubel.

CONSIDERAÇÕES

As discussões evidenciadas nesta pesquisa demonstram o potencial da impressão 3D como recurso pedagógico para o ensino de Física, especialmente quando fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2000) e articulada à Teoria dos Registros de Representação (Durval, 2013).

A utilização do pêndulo duplo como objeto de estudo permitiu aproximar conceitos abstratos da experiência concreta dos estudantes, favorecendo a construção de significados e a compreensão de fenômenos físicos complexos.

Nesse contexto, surge a necessidade de capacitar professores para integrar essas abordagens em suas práticas pedagógicas. A formação deve ir além do domínio técnico da impressão 3D, abrangendo também a compreensão de seu potencial pedagógico e de como utilizá-la para mediar a construção de conceitos físicos. Professores preparados, com uma postura epistemológica crítica, são a chave para transformar o ensino de Física em uma experiência mais rica, inclusiva e significativa (Silva, 2025).

É fundamental que os professores busquem formação continuada e se capacitem para explorar o potencial dessa e outras tecnologias, aprofundando seus conhecimentos sobre epistemologia da Ciências, teorias de aprendizagem e didática das Ciências.

Apesar das limitações dessa pesquisa, devido ao seu caráter teórico e exploratório e a escassez do tema na literatura, apontamos para a originalidade e relevância do tema e apontamos para a necessidade de que novas pesquisas sejam conduzidas.

Futuras investigações poderão avaliar a eficácia de sequências didáticas que integrem a impressão 3D, com foco na aprendizagem dos estudantes e no desenvolvimento profissional dos professores. Seria relevante, ainda, explorar a percepção dos alunos sobre o uso da tecnologia e das metodologias adotadas, bem como

aprofundar a análise das interações geradas pela manipulação do pêndulo duplo impresso em 3D.

REFERÊNCIAS

- AMADO, D. S. **O uso da impressão 3D como recurso didático para o ensino de virologia no ensino médio**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ensino de Biologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.
- AUSUBEL, D. P. **Educational psychology: a cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968. 685 p.
- AUSUBEL, D. P. **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. 212 p.
- BARTELMEBS, R. C.; VENTURI, T.; SOUSA, R. S. de. Pandemia, negacionismo científico, pós-verdade: contribuições da Pós-graduação em Educação em Ciências na Formação de Professores. **Revista Insignare Scientia**, Cerro Largo, v. 4, n. 5, p. 64-85, 2021. DOI: 10.36661/2595-4520.2021v45.12564.
- BARTELMEBS, R. C.; SOUSA, R. S.; VENTURI, T. Educar pela pesquisa como modo de ser do(a) professor(a). **Revista Conexão UEPG**, Ponta Grossa, v. 20, n. 1, p. 01-15, 2024. DOI: 10.5212/Rev.Conexao.v.20.23556.014.
- COLL, C. **Psicologia da educação**. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- CORTEZ, J. A. **Impressão 3D na educação: uma revisão sistemática da literatura**. 2020. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.
- DOS SANTOS, J. C. et al. Impressão 3D no ensino de ciências: tendências e desafios. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia**, v. 18, n. 1, p. 45-62, 2025.
- DUARTE, N. **Vigotski e o "aprender a aprender": crítica às apropriações neoliberais e pós-modernas da teoria vigotskiana**. Campinas: Autores Associados, 2001.
- DUVAL, R. **Aprendizagem e representações**. São Paulo: Cortez, 2013.
- FARIAS, M. D. S. **Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa na prática docente**. 2022. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- FELIX, A. **Impressão 3D e pensamento computacional na educação**. 2016. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- FLORES, J.; MORETTI, V. D. **Semiótica e educação matemática**. São Paulo: Editora da UNESP, 2008.
- FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2018.

- GOMES, M. L. M.; ECHEVERRÍA, A. R. Registros de representação e ensino de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 237-258, 2011.
- HENRIQUES, A.; ALMOULOU, S. A. Teoria dos Registros de Representação Semiótica e ensino de matemática. **BOLEMA**, v. 30, n. 54, p. 123-145, 2016.
- JOHNSON, L. et al. **Horizon Report 2015**: edição ensino básico. Austin: New Media Consortium, 2015.
- LEÃO, D. M. M. Paradigmas contemporâneos de educação: escola tradicional e escola construtivista. **Cadernos de Pesquisa**, n. 107, p. 125-141, 1999.
- LIMA, J. C. de. Registros de representação e ensino de física: possibilidades e desafios. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, e20180252, 2019.
- MEIRA, T. F.; RIBEIRO, P. R. C. Analfabetismo científico no Brasil: causas e consequências. **Educação e Pesquisa**, v. 49, e245678, 2023.
- MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014. 416 p.
- MOHR, A. Ensinar e aprender ciências: reflexões e implicações para a educação em saúde na escola. **Revista Dynamis**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 59-81, set. 2021. DOI: 10.7867/1982-4866.2021v27n2p59-81.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. São Paulo: Livraria da Física, 2011.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.
- PEIRCE, C. S. **Semiótica e filosofia**. São Paulo: Cultrix, 1975.
- PIRES, F. P.; VINHOLI JR., A. J. Impressão 3D e cultura maker no Brasil: um estudo bibliométrico. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 18, n. 52, p. 78-95, 2022.
- PREVITERA, A. et al. Impressão 3D na educação básica brasileira: uma revisão sistemática. **Caderno de Educação**, v. 28, n. 1, p. 88-105, 2024.
- SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.
- SAVIANI, D. **Pedagogia histórico-crítica**: primeiras aproximações. 11. ed. rev. Campinas: Autores Associados, 2011.
- SILVA, E. P. da. **Reflexão epistemológica sobre a cosmologia contemporânea**. 2026. Trabalho (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2026.
- VENTURI, T. **Educação em Saúde sob uma Perspectiva Pedagógica e Formação de Professores**: contribuições das Ilhotas Interdisciplinares de Racionalidade para o

desenvolvimento profissional docente. 2018. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

WISHBOX. **Wishbox – Soluções em Impressão 3D**. 2023. Disponível em: <https://www.wishbox.net.br/>. Acesso em: 23 jan. 2025.

Submissão: 04/06/2026. **Aprovação:**19/08/2026. **Publicação:**31/08/2026.