

UNESPAR

E  
L  
V  
I  
S  
  
P  
E  
D  
R  
O  
  
D  
A  
  
S  
I  
L  
V  
A

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ  
CAMPUS DE PARANAVAÍ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO  
FORMAÇÃO DOCENTE INTERDISCIPLINAR - PPIFOR**

**A IMPRESSÃO 3D NO CONTEXTO DA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL**

**ELVIS PEDRO DA SILVA**

**PARANAVAÍ  
2025**

**2025**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ  
CAMPUS DE PARANAVAÍ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO  
FORMAÇÃO DOCENTE INTERDISCIPLINAR – PPIFOR**

**A IMPRESSÃO 3D NO CONTEXTO DA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL**

**ELVIS PEDRO DA SILVA**

**PARANAVAÍ  
2025**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ  
CAMPUS DE PARANAVAÍ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO  
FORMAÇÃO DOCENTE INTERDISCIPLINAR - PPIFOR**

**A IMPRESSÃO 3D NO CONTEXTO DA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL**

Dissertação apresentada por ELVIS PEDRO DA SILVA, ao Programa de Pós-Graduação em Ensino da Universidade Estadual do Paraná – Campus de Paranavaí, como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino.

Área de Concentração: Formação docente interdisciplinar.

Orientadora:

Prof. Dra.: SHALIMAR CALEGARI ZANATTA

Coorientador:

Prof. Dr.: RAFAEL MESTRINHEIR HUNGARO

## FICHA CATALOGRÁFICA:

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNESPAR e Núcleo de Tecnologia de Informação da UNESPAR, com Créditos para o ICMC/USP e dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silva, Elvis Pedro

A impressão 3d no contexto da aprendizagem significativa de Ausubel / Elvis Pedro Silva. -- Paranaíba-PR, 2025.  
74 f.: il.

Orientador: Shalimar Calegari Zanatta.

Coorientador: Rafael Mestrinheir Hungaro.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Ensino: "Formação Docente Interdisciplinar") -- Universidade Estadual do Paraná, 2025.

1. Impressão 3D. 2. Teoria da Aprendizagem Significativa. 3. Organizador Prévio. 4. Matemática. 5. Ensino de Ciências.. I - Zanatta, Shalimar Calegari (orient). II - Hungaro, Rafael Mestrinheir (coorient). III - Título.

ELVIS PEDRO DA SILVA

**A IMPRESSÃO 3D NO CONTEXTO DA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL**

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dra.: SHALIMAR CALEGARI ZANATTA  
UNESPAR, *Campus Paranavaí*

Prof. Dr. RAFAEL MESTRINHEIRE HUNGARO  
UNESPAR, *Campus Paranavaí*

Prof. Dra. HERCILIA APARECIDA DE CARVALHO  
UFPR, *Campus Jandaia do Sul*

Prof. Dra. BRUNA MARQUES DUARTE  
UFGD, *Campus Dourados*

**Resultado:** APROVADO

**Data:**

30/ 10/ 2025

*Dedico este trabalho Agradeço, primeiramente, a Deus, fonte de sabedoria e inspiração, por ter me sustentado ao longo de esta jornada acadêmica. Aos meus pais, pilares essenciais de minha formação social, afetiva e intelectual, expresse minha gratidão pela base sólida que me proporcionaram para a realização deste trabalho. Estendo meus agradecimentos à minha orientadora Shalimar, cuja orientação firme, generosa e constante foi decisiva nos momentos mais desafiadores deste percurso.*

*À minha companheira de vida, Ana Gabriela, manifesto profundo reconhecimento pelo incentivo incondicional e pelo apoio afetivo nos momentos em que mais precisei, sobretudo na etapa conclusiva desta pesquisa. Aos amigos de curso e colegas de caminhada acadêmica, especialmente àqueles que compartilharam os desafios e alegrias dessa trajetória, agradeço pela companhia, estímulo e suporte contínuo.*

*Dedico, com carinho e saudade, esta conquista à memória de minha avó, Dona Maria do Carmo, cuja presença permanece viva em minhas lembranças e valores. Por fim e não menos importante, reafirmo minha devoção a Deus e à intercessão de Nossa Senhora Aparecida, que me ampararam espiritual e emocionalmente durante todo esse processo formativo.*

## AGRADECIMENTOS

A conclusão desta dissertação representa a realização de um sonho que nasceu ainda na infância e, ao longo do tempo, foi sendo construído com dedicação, resiliência e, sobretudo, com o apoio de pessoas essenciais em minha trajetória.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que me fortaleceu e me sustentou em cada etapa deste processo. E a interseção de Nossa Senhora Aparecida nos momentos de fraqueza, incerteza e cansaço, Ele nunca me desamparou. Foi Sua presença que renovou meu ânimo e iluminou os caminhos mesmo quando tudo parecia prestes a desmoronar.

Minha eterna gratidão à minha orientadora Prof. Dr<sup>a</sup> Shalimar, cuja inteligência brilhante, entusiasmo contagiante e compromisso com o ensino foram fundamentais para a concretização desta pesquisa. Desde a graduação, ela tem sido um espelho para mim, uma referência de profissionalismo, sensibilidade e inspiração.

Estendo meus sinceros agradecimentos ao meu coorientador Prof. Dr. Rafael Hungaro, com quem cultivo uma amizade sólida desde os tempos da graduação até a conclusão deste trabalho. Sua parceria, orientação e generosidade acadêmica foram indispensáveis nesse percurso. Apesar das divergências no time de futebol que, aliás, só tornam nossa relação mais divertida, nossa sintonia e respeito mútuo sempre falaram mais alto.

Agradeço, com carinho, à coordenação do Programa de Pós-Graduação da PPIFOR, que proporcionou aulas, experiências e momentos que levarei comigo por toda a vida. Estar nesse ambiente acadêmico foi, ao mesmo tempo, estimulante e gratificante.

Aos meus pais, Antonio Pedro da Silva e Edneia Borges da Silva, meu amor e minha gratidão eterna. Eles foram meu alicerce inabalável, não mediram esforços para me apoiar e, acima de tudo, me ensinaram que a educação é o caminho mais valioso para conquistar nossos sonhos. E uma homenagem à memória da minha querida avó Dona Maria do Carmo Gomes de Almeida. Sua presença, mesmo após a partida, foi sentida em todos os momentos.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para este sonho tornar-se realidade, em especial Bruno Fernandes, Geovana Marcelino, Fabricio Silvério e Heitor Pestana, o meu mais sincero muito obrigado.

*"A cada queda, Deus me pôs de pé,  
com meus ancestrais, hoje eu tenho fé  
eu sou a continuação de um sonho  
da minha mãe, do meu pai  
de todos que vieram antes de mim  
eu sou a continuação de um sonho  
Quem sangrou para poder sorrir." (Bk')*

*"Porque aprendi que a dignidade do homem  
está na alma que serve com alegria,  
e não na cor da sua pele  
ou na riqueza que carrega." (São Benedito)*



SILVA, Elvis Pedro. **A impressão 3D no contexto da aprendizagem significativa de Ausubel** n.º de folhas 74 Dissertação (Mestrado em Ensino: Formação Docente Interdisciplinar) – Universidade Estadual do Paraná – Campus de Paranavaí. Orientadora: Profa. Dra. Shalimar Calegari Zanatta. Paranavaí, 2025.

## RESUMO

Esta pesquisa está inserida na linha II: “Formação de professores, metodologias de ensino e recursos teórico-didáticos nas práticas educativas” do Programa de Interdisciplinar de Formação Docente (PPifor) da UNESPAR campus Paranavaí. Dentro de um contexto mais amplo, ela defende a importância do professor em utilizar teorias de aprendizagem para desenvolver metodologias didático-pedagógicas em sala de aula. Nesta perspectiva, esta pesquisa investigou se a impressão 3D pode ser utilizada como um organizador prévio (OP), como definido pela Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS) para o ensino das Ciências da Natureza e as suas Tecnologias e da Matemática e as suas Tecnologias. Portanto, trata-se de uma pesquisa de abordagem qualitativa, do tipo exploratória e descritiva. É importante ressaltar que o tema aqui proposto se constitui uma lacuna na literatura. Ou seja, o emprego da impressão 3D, no ambiente escolar, além de ser escasso, tem sido apresentado como um recurso pragmático. Assim, além de mostrarmos que o processo de impressão 3D, de materiais didáticos, pode ser subsidiado pela TAS, apresentamos uma proposta didático metodológica contra hegemônica.

**Palavras-chave:** Impressão 3D; Teoria da Aprendizagem Significativa; Organizador Prévio; Matemática; Ensino de Ciências.

SILVA, Elvis Pedro. **3D Printing in the Context of Ausubel's Theory of Meaningful Learning**. (74 f.). Dissertation (Master's in Teaching: Interdisciplinary Teacher Training) – State University of Paraná. Advisor: Shalimar Calegari Zanatta. Paranavaí, 2025.

### ABSTRACT

This research is part of Line II: "Teacher Training, Teaching Methodologies, and Theoretical-Didactic Resources in Educational Practices" of the Interdisciplinary Teacher Training Program (PPiFor) at UNESPAR's Paranavaí campus. Within a broader context, it advocates for the importance of teachers using learning theories to develop didactic-pedagogical methodologies in the classroom. From this perspective, the study investigated whether 3D printing can be used as an Advance Organizer (AO), as defined by Ausubel's Theory of Significant Learning (TSL), for teaching Natural Sciences and Their Technologies and Mathematics and Its Technologies. Therefore, it is a qualitative research study of an exploratory and descriptive nature. It is important to emphasize that the proposed topic represents a gap in the literature. That is, the use of 3D printing in the school environment is not only scarce but has also been presented as a pragmatic resource. Thus, in addition to demonstrating that the process of 3D printing teaching materials can be informed by the TSL, we present a counter-hegemonic didactic-methodological proposal.

**Keywords:** 3D Printing; Theory of Significant Learning; Advance Organizer; Mathematics; Science Teaching.

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Comparativo de custos de aquisição e operação. ....	30
Tabela 2 - Artigos/dissertações que utilizam a impressão 3D como Organizador Prévio. ....	37

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa Conceitual sobre a TAS. ....	25
Figura 2 - Diagrama esquemático da impressão 3D por FDM.....	26
Figura 3 - Diagrama esquemático da técnica SLA .....	29
Figura 4 - Interface do Bambu Studio. ....	42
Figura 5 - Procedimento de instalação. ....	43
Figura 6 - Interface MakerWorld.....	46
Figura 7 - Imagem em 3D produzida no Bambu Studio. ....	50
Figura 8 - Imagem impressa em 3D de um Pêndulo Simples .....	52
Figura 9 - Imagem em 3D produzida no Bambu Studio. ....	58
Figura 10 - Imagem em 3D produzida no Bambu Studio. ....	59
Figura 11 - Imagem impressa em 3D dos Sólidos de Platão. ....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**3D** - Tridimensional

**ABS** - Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acrilonitrila Butadieno Estireno)

**BNCC** - Base Nacional Comum Curricular

**BS** – Bambu Studio

**CAD** - Computer-Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

**FDM** - Fused Deposition Modeling (Modelagem por Deposição de Filamento Fundido)

**IUPAC** - International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada)

**MEC** - Ministério da Educação

**PBL** - Project-Based Learning (Aprendizagem Baseada em Projetos)

**PISA** - Programme for International Student Assessment (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes)

**PLA** - Polylactic Acid (Ácido Polilático)

**PNE** - Plano Nacional de Educação

**SLA** - Stereolithography (Estereolitografia)

**SLS** - Selective Laser Sintering (Sinterização Seletiva a Laser)

**STEAM** - Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática)

**STEM** - Science, Technology, Engineering, and Mathematics (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática)

**TPU** - Thermoplastic Polyurethane (Poliuretano Termoplástico)

**UV** - Ultravioleta

**TAS** – Teoria da Aprendizagem Significativa

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Aprendizagem Significativa de Ausubel - TAS.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Contextualização da impressão 3D .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3</b>	<b>A impressão 3D no processo ensino e aprendizagem: o que diz a literatura .....</b>	<b>34</b>
<b>2.4</b>	<b>A impressão 3D como organizador prévio .....</b>	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>O software Bambu Studio.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Parâmetros gerais de modelagem e preparação .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3</b>	<b>Análise técnica e comparativa da impressão 3D.....</b>	<b>47</b>
<b>3.4</b>	<b>Construção do Pêndulo Duplo.....</b>	<b>48</b>
<b>3.5</b>	<b>Organizador prévio: pêndulo duplo em 3d .....</b>	<b>49</b>
<b>3.6</b>	<b>Parâmetros gerais de modelagem e preparação dos sólidos de Platão.....</b>	<b>53</b>
<b>3.7</b>	<b>Construção dos sólidos de Platão no GeoGebra .....</b>	<b>54</b>
<b>3.8</b>	<b>Organizador Prévio: Sólidos de Platão em 3D.....</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÕES.....</b>	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa está inserida na Linha II Formação *de professores, metodologias de ensino e recursos teórico-didáticos nas práticas educativas* do Programa Interdisciplinar de Formação Docente (PPIFOR) da UNESPAR, campus Paranavaí. Como professor de Matemática e Física da rede estadual, atuante no ensino fundamental, II e no ensino médio, discuto aqui a impressão 3D como proposta pedagógica para o ensino das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, bem como da Matemática e suas Tecnologias.

Apresentam-se, assim, os subsídios teóricos que justificam o uso da impressão 3D, no contexto educacional, como um Organizador Prévio (OP) voltado à promoção da aprendizagem significativa, conforme definida por Ausubel.

Os Organizadores Prévios (OPs), segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel, constituem recursos instrucionais materiais ou atividades introdutórias, que auxiliam os alunos a estabelecer conexões entre seus conhecimentos prévios (subsunçores) e os novos conteúdos a serem introduzidos pelo professor. De acordo com Ausubel, a principal função de um OP é servir como ponte cognitiva entre o que o aluno já sabe e o que deverá saber, fortalecendo a aprendizagem significativa, como destaca Moreira (2008, p. 2).

Conforme a TAS, para que a aprendizagem significativa ocorra, o novo conhecimento deve fazer sentido para o aluno.

No atual contexto educacional, marcado por transformações contínuas impulsionadas pela rápida evolução tecnológica e pela crescente demanda por práticas pedagógicas inovadoras, exige-se do professor um domínio cada vez maior de conhecimentos teóricos e metodológicos.

A integração de novas tecnologias ao ambiente escolar, com destaque para a impressão 3D, pode catalisar uma profunda reconfiguração dos processos de ensino e aprendizagem, especialmente quando articulada a metodologias interdisciplinares. Entretanto, a utilização da impressão 3D no processo educativo constitui um desafio para o professor. Embora seja um recurso atual, motivador e capaz de atrair a atenção dos alunos, o que é promissor para a aprendizagem significativa, persistem desafios como a ausência de políticas públicas voltadas à formação continuada e à aquisição desses equipamentos pelas escolas. Ainda assim, a impressão 3D apresenta grande potencial para o ensino, pois permite que os alunos tenham acesso a materiais concretos construídos com sua participação, tornando a aprendizagem mais prazerosa e significativa (SOUZA et al., 2024, p. 5).

Por outro lado, muitos professores não sabem manusear uma impressora 3D ou, quando aprendem, não sabem como ou quando utilizar o processo de impressão ou o material didático

produzido. Tanto o processo de impressão quanto os objetos gerados podem ser explorados como instrumentos de ensino e aprendizagem, contribuindo para a aquisição de conceitos teóricos e para a aplicação desses conhecimentos na resolução de problemas (SOUZA et al., 2024, p. 9).

Os materiais ou modelos tridimensionais produzidos podem auxiliar na representação de conceitos abstratos, permitindo que os alunos os manipulem e oferecendo à prática pedagógica uma nova dimensão experiencial, especialmente vantajosa para alunos com estilos de aprendizagem cinestésicos.

Ao se engajarem na criação desses modelos, os alunos são instigados a refletir sobre os conceitos que desejam representar, antecipando mentalmente informações que serão posteriormente formalizadas.

Nesse cenário, os alunos passam a projetar, criar e manipular objetos físicos e tangíveis, o que estimula o raciocínio espacial e a compreensão de princípios fundamentais de design e engenharia. Projetos mediados pela impressão 3D frequentemente demandam trabalho colaborativo, incentivando a partilha de ideias, a divisão de tarefas e a resolução coletiva de problemas. Essa dimensão social da aprendizagem é crucial para o desenvolvimento de habilidades interpessoais e para a preparação dos alunos frente às exigências de ambientes profissionais marcados pela colaboração.

A natureza interativa do processo de design associado à impressão 3D permite que os alunos idealizem protótipos, testem e reformulem suas criações, promovendo o desenvolvimento de uma mentalidade orientada ao *design thinking*. Tal abordagem é fundamental para a inovação e para a resolução de problemas complexos do mundo real, uma vez que o processo iterativo de tentativa e erro não apenas consolida a aprendizagem de conceitos técnicos, mas também favorece o desenvolvimento de resiliência, paciência e adaptabilidade competências indispensáveis à formação acadêmica e profissional contemporânea.

Embora não seja o foco central desta pesquisa, é importante discutir brevemente as metodologias ativas do tipo “mão na massa”, nas quais os alunos se tornam protagonistas e responsáveis por seu próprio aprendizado. Essas metodologias se inserem no movimento conhecido como construtivismo, difundido na década de 1980, que surgiu em oposição às metodologias tradicionais centradas na transmissão diretiva do conhecimento pelo professor. Nesse contexto, a aprendizagem denominada “significativa” é frequentemente interpretada como resultado da aplicação de metodologias ativas. Contudo, não compactuamos com essa premissa.



Não se pretende aqui realizar uma crítica específica ao construtivismo, mas provocar uma reflexão sobre a eficácia de seus métodos e defender que o professor deve se pautar em teorias da aprendizagem para construir pontes metodológicas. Metodologias didático-pedagógicas baseadas no senso comum devem ser questionadas.

Inserida nesse contexto, esta pesquisa apresenta uma proposta de uso da impressão 3D como Organizador Prévio, conforme discutido pela Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Trata-se, portanto, de uma lacuna que esta investigação busca apenas indicar, apontando a necessidade de percorrer novos e mais amplos caminhos.

Para auxiliar o leitor na compreensão dessa lacuna, o capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Também são expostas informações básicas sobre o processo de impressão 3D por manufatura aditiva, com foco em dois métodos amplamente utilizados pela indústria: o *Fused Deposition Modeling* (FDM) e a *Stereolithography* (SLA), baseada na fotopolimerização de resinas líquidas.

Além disso, apresenta-se uma revisão bibliográfica sistemática sobre o uso da impressão 3D no sistema educacional, enfatizando esse recurso como OP. É importante salientar que há poucos estudos sobre o tema. A impressão 3D tem se desenvolvido principalmente nas áreas da saúde e da engenharia, demonstrando sua ampla aplicabilidade e contribuindo também para uma educação inclusiva (SOUZA et al., 2024, p. 17).

No capítulo 3, descreve-se o percurso metodológico para a impressão de objetos, como sólidos geométricos e o pêndulo duplo, que podem ser utilizados como OPs para o ensino de conteúdo das Ciências da Natureza e suas Tecnologias e da Matemática e suas Tecnologias, conforme orienta a Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

A abordagem delineada visa não apenas à instrumentalização do professor, mas também à ampliação do repertório didático, promovendo uma experiência educativa marcada pela acessibilidade, pelo engajamento e pela significação dos saberes científicos.

O capítulo 4 é dedicado à apresentação dos resultados e à análise interpretativa decorrente da investigação. Ressalta-se que também se discute aqui os resultados das análises dos artigos identificados e descritos na revisão bibliográfica do capítulo 2.

As análises realizadas forneceram subsídios consistentes para validar, discutir ou reconfigurar as hipóteses iniciais, evidenciando a complexidade dos fenômenos estudados e contribuindo para o aprofundamento teórico-metodológico da temática.

Como principal resultado, pode-se afirmar que a impressão 3D, enquanto recurso metodológico-didático, configura-se como uma fonte inesgotável de potencialidades. Mais do que oferecer uma contribuição teórica, esta dissertação constitui um convite à ação diante da

necessidade de modernização do sistema educacional brasileiro e evidência a importância da formação continuada de professores. Conforme explicitado nas Considerações Finais, a transformação desejada no processo de ensino e aprendizagem deve ser permeada por uma formação docente contínua. Os professores precisam compreender por que, como e quando adotar determinadas práticas pedagógicas, substituindo o senso comum pelo respaldo teórico.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo é dedicado a uma revisão bibliográfica sistemática que contempla os principais referenciais teóricos que fundamentam esta investigação, bem como os pressupostos metodológicos relacionados aos processos de avaliação somativa e formativa que sustentam os temas abordados nesta pesquisa.

### **2.1 Aprendizagem Significativa de Ausubel - TAS**

David Ausubel (1918–2008) nasceu em Nova York, graduou-se em Psicologia e Medicina e ganhou reconhecimento internacional quando, na década de 1960, descreveu o processo cognitivo envolvido na aprendizagem do aluno no contexto da sala de aula. Sua teoria, denominada Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), destaca a relevância das conexões que o estudante deve estabelecer entre seus conhecimentos prévios chamados de subsunçores e o novo conhecimento que o professor pretende introduzir.

A frase de capa do livro de Ausubel sintetiza esse princípio: “Descubra o que o aluno já sabe e o ensine de acordo” (AUSUBEL, 1968).

Um dos conceitos centrais da TAS é o de subsunçor. Subsunçores correspondem aos conhecimentos prévios que o aluno deve possuir sobre o tema que será abordado pelo professor. Em outras palavras, o subsunçor funciona como uma âncora conceitual que possibilita a interação entre o que o estudante já sabe e as novas informações. Essa ancoragem é fundamental para a dinâmica da aprendizagem significativa, conforme delineado por Moreira e Masini (1982).

Ausubel (1968) defende que o professor apresente inicialmente os conceitos mais gerais, avançando gradualmente para os mais específicos, sempre evidenciando as relações entre eles. Em termos didáticos, o processo de ensino e aprendizagem pode ser compreendido como movimentos ascendentes e descendentes nas hierarquias conceituais do conteúdo a ser ensinado.

Entretanto, quando o aluno não dispõe de subsunçores adequados para iniciar o processo de aprendizagem significativa, cabe ao professor fornecer conceitos mais básicos ou mais gerais por meio dos Organizadores Prévios (OPs). Esses OPs podem assumir diferentes formas, como trechos de filmes, textos, explicações orais, atividades experimentais ou outras estratégias introdutórias.

Nesse sentido, Moreira e Masini (1982), pesquisadores de referência na área, destacam que:

Ao se introduzir um material que deve ser apreendido significativamente, ele deve apresentar um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusividade do que o próprio conteúdo, estabelecendo conexões explícitas com ideias já presentes na estrutura cognitiva do aluno. (Moreira e Masini, 1982, p. 103).

Para Aragão (1976), é imprescindível fornecer ao aluno uma visão global e antecipada do conteúdo que será explorado, facilitando a criação de vínculos conceituais com o repertório já estabelecido. Ao complementar essa perspectiva, o autor ressalta que os OPs, quando apresentados em um nível mais elevado de generalidade e abstração, oferecem condições epistemológicas adequadas para a construção de pontes cognitivas entre o conhecimento prévio e os novos saberes. Dessa forma, promovem uma aprendizagem que transcende o caráter meramente mecânico, orientando-se pela significação intelectual e pela integração conceitual duradoura.

Para Moreira (2012), a escolha dos materiais de ensino deve ser pautada não apenas por sua relevância curricular, mas, sobretudo, por sua capacidade de estabelecer conexões com a estrutura cognitiva pré-existente do aluno, afirmando que:

A seleção de conteúdos e de matrizes curriculares deve utilizar as ideias de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa como princípios programáticos. O ensino, orientado a partir de organizadores prévios, estabelece pontes entre os significados já concebidos pelos alunos e os conhecimentos necessários para uma aprendizagem significativa. Dessa forma, criam-se relações explícitas entre os novos conteúdos e os saberes já existentes, conferindo maior sentido aos métodos e às matérias de aprendizagem.” (MOREIRA, 2012, p. 6–7).

A aprendizagem significativa representa uma mudança no conhecimento prévio, isto é, uma modificação nos subsunçores. Essa mudança pode ser compreendida como uma reorganização hierárquica dos conceitos por meio de processos mentais denominados reconciliação integrativa e diferenciação progressiva.

Contudo, como adverte Aragão (1976, p. 45), embora seja desejável que os alunos consigam formular subsunçores adequados, é pouco provável que o façam com eficiência, dada a complexidade inerente aos conteúdos e às exigências didáticas envolvidas. Assim, conforme aponta Farias (2022), o professor deve elaborar itinerários formativos ancorados na lógica da progressão conceitual, promovendo a articulação gradual entre diferentes níveis de complexidade dos conteúdos curriculares, acrescentando que:

O princípio da diferenciação progressiva configura-se como elemento estruturante na organização didática dos conteúdos curriculares. Nessa perspectiva, o planejamento pedagógico deve privilegiar a apresentação inicial de conceitos amplos e inclusivos, os quais atuam como fundamentos conceituais para a compreensão dos tópicos subsequentes. Com base nessa estrutura introdutória, 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, p. 65).

Farias (2022) também defende que o professor deve promover a reconciliação integrativa no planejamento do conteúdo curricular, ao destacar que:

A reconciliação integrativa, no âmbito do planejamento e da programação de conteúdos educacionais, consiste em um processo pedagógico que visa promover a articulação coerente entre proposições e conceitos, já consolidados ou recém-introduzidos. Tal abordagem implica a identificação e análise crítica de semelhanças e distinções conceituais relevantes, bem como a resolução de possíveis inconsistências, sejam elas aparentes ou efetivas no interior da estrutura cognitiva do aprendiz. Ao favorecer a reestruturação do conhecimento previamente adquirido à luz de novas informações, a reconciliação integrativa contribui significativamente para a formação de uma rede conceitual mais unificada, lógica e significativa, em consonância com os princípios propostos por Ausubel. (FARIAS, 2022, p. 66).

A articulação entre diferenciação progressiva e reconciliação integrativa é, portanto, essencial para a ocorrência da aprendizagem significativa e caracteriza o ensino do tipo “sobe e desce”, conforme já mencionado.

Ausubel distingue a aprendizagem mecânica da aprendizagem significativa. A aprendizagem mecânica ocorre quando o novo conceito é armazenado ou memorizado na estrutura cognitiva sem que haja conexões ou reorganização entre os conhecimentos. A aprendizagem significativa, por sua vez, exige que o aluno deseje aprender, pois é ele quem estabelece as conexões e reorganiza os conceitos. Trata-se, portanto, de um processo ativo, o que não implica, necessariamente, que a metodologia de ensino deva ser ativa.

Cabe ao professor planejar materiais didáticos potencialmente significativos e motivadores, de modo que o aluno possa estabelecer as relações necessárias. Conforme a TAS, em algumas situações, a aprendizagem mecânica deve preceder a aprendizagem significativa. Embora esta última seja o objetivo maior, ambas constituem um continuum no processo de aprendizagem.

A própria aprendizagem significativa é contínua: o aluno amplia e reorganiza hierarquicamente seus conceitos ao longo do tempo.

Segundo Moreira e Masini (2001), a “formação de conceitos é característica da aquisição indutiva e espontânea de ideias genéricas pela criança em idade pré-escolar, a partir da experiência empírico-concreta” (ibidem). Ou seja, na fase pré-escolar, a maioria dos conceitos é construída de forma direta, por meio da experiência. No entanto, no processo escolar, esses conceitos passam por um processo de abstração, isto é, de generalização. Um dos desafios do ensino formal é justamente facilitar essa transição do concreto para o abstrato.

No que se refere às metodologias de ensino, Ausubel (2002) afirma que a aprendizagem significativa é, fundamentalmente, uma aprendizagem por recepção:

[...] a aquisição de conhecimentos de matérias em qualquer cultura é, essencialmente, uma manifestação de aprendizagem por recepção. Ou seja, geralmente apresenta-se ao aprendiz, numa forma mais ou menos final e mediante ensino expositivo, o conteúdo principal daquilo que o mesmo deve apreender. Nestas circunstâncias, apenas se exige do aprendiz que compreenda o material e o incorpore na própria estrutura cognitiva, para ficar disponível quer para reprodução, para aprendizagem relacionada, quer para resolução de problemas no futuro (AUSUBEL, 2002, p. 6).

A aprendizagem por recepção significativa é favorecida por um material didático potencialmente significativo, isto é, capaz de estabelecer uma relação “substantiva” e “não arbitrária” entre o novo conteúdo e a estrutura cognitiva do aluno. É importante compreender que uma relação substantiva entre o estudante e o material de aprendizagem implica uma interação de natureza pessoal e intencional; em outras palavras, o aluno deve querer aprender, como já discutido anteriormente.

Dessa forma, pode-se afirmar que o principal desafio para promover a aprendizagem significativa consiste na apresentação de um corpo organizado de conhecimentos que provoque modificações nos subsunçores. Assim, o problema da aprendizagem em sala de aula reside na escolha e na utilização de uma sequência de recursos ou conceitos que favoreçam a aprendizagem significativa.

Nesse sentido, ao contrário do senso comum, a transmissão verbal do conhecimento pelo professor não implica necessariamente a promoção de uma aprendizagem mecânica ou “bancária”, nos termos freirianos apresentados em *Pedagogia do Oprimido*. Isso ocorre desde que o professor estabeleça vínculos cognitivos entre o conteúdo e a estrutura conceitual do aluno.

Segundo Ausubel (2002), a aprendizagem por recepção significativa deve ser considerada ativa, pois exige, no mínimo, três ações por parte do aluno:

1. analisar os aspectos mais relevantes da estrutura do novo material apresentado;
2. realizar uma reconciliação entre as ideias já existentes em sua estrutura cognitiva e aquelas propostas pelo professor;
3. reformular o conceito de maneira idiossincrática, isto é, adaptar o novo conhecimento à sua própria estrutura conceitual.

O processo cognitivo necessário para que o aluno alcance a aprendizagem significativa pode ser facilitado quando o professor utiliza elementos da abordagem STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*). Isso ocorre porque o caráter motivacional e interdisciplinar dessa abordagem favorece o estabelecimento de relações hierárquicas entre os conceitos. Ressalta-se que, neste texto, o termo “abordagem STEAM” é utilizado para designar aquilo que é possível implementar no contexto brasileiro, em comparação com a Educação STEAM desenvolvida nos Estados Unidos. Embora o tema não seja central nesta pesquisa, é relevante mencionar que a Educação STEAM surgiu nos Estados Unidos como resposta a um desafio econômico (MEANS et al., 2017).

Temendo que a China passasse a liderar o mercado global com produtos “criados na China”, em vez de apenas “feitos na China”, o então presidente Barack Obama realizou, em 2011, investimentos significativos na formação de professores para incentivar a adoção da Educação STEAM (OBAMA, 2009). Esse modelo educacional exige mudanças na organização da sala de aula, no currículo, nos métodos de avaliação e, sobretudo, na formação docente. Segundo Knezek et al. (2013), a Educação STEAM contribuiu para melhorar a percepção e a criatividade dos alunos, ampliou o conhecimento dos conteúdos e aumentou a motivação dos alunos norte-americanos.

Nesse contexto, a impressão 3D pode ser incorporada à abordagem STEAM. Quando utilizada com fundamentação teórica, essa prática não apenas favorece a assimilação de conteúdos, mas também estimula a criatividade e o desenvolvimento de habilidades relacionadas à resolução de problemas.

No âmbito da TAS, Ausubel (1968) ressalta a importância da motivação para a promoção da aprendizagem significativa. Os alunos tendem a assimilar novos conhecimentos de forma mais eficaz quando reconhecem sua relevância e aplicabilidade, especialmente quando esses saberes podem ser relacionados ao cotidiano.

Visando reforçar os princípios da TAS, a Figura 1 apresenta um Mapa Conceitual sobre o tema. É importante destacar que o Mapa Conceitual constitui um instrumento metodológico relevante para acompanhar a evolução da aprendizagem significativa. Desenvolvido por Joseph D. Novak, em 1972, esse recurso permite que o aluno reorganize hierarquicamente os conceitos assimilados, interligando-os de maneira progressiva e contextualizada.

Observa-se, na Figura 1, que o conceito mais geral “aprendizagem significativa” se encontra no topo do diagrama. Isso evidencia a existência de uma hierarquia entre os conceitos, conectados por frases que explicitam suas relações. Por exemplo, a primeira linha vertical indica que Ausubel descreveu o processo cognitivo da aprendizagem significativa, o qual envolve organização, retenção e assimilação hierárquica dos conceitos.

A segunda linha vertical mostra que a aprendizagem significativa ocorre quando um novo conceito é incorporado à estrutura cognitiva do aluno por meio do conhecimento prévio, denominado subsunçor por Ausubel.

Na terceira linha vertical, observa-se que a aprendizagem significativa resulta de dois processos cognitivos: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Esses processos promovem a modificação dos subsunçores. Para exemplificar, o conceito de “força” que o aluno traz para a sala de aula é continuamente reformulado à medida que estuda Física. À medida que o professor apresenta diferentes tipos de força gravitacional, elástica (Lei de Hooke), peso, torção, entre outras o estudante reorganiza seu conceito inicial, generalizando-o em algumas situações e especificando-o em outras.



aprendizagem significativa



Como mostra a próxima linha vertical, nessa atividade mental o aluno passa

Observe-se que as linhas tracejadas presentes nos mapas conceituais remetem à aprendizagem superordenada, favorecendo a reconciliação integrativa, e à aprendizagem subordinada, associada à diferenciação progressiva. Tais linhas têm a função de representar as relações entre conceitos, normalmente acompanhadas por palavras de ligação que constituem proposições semanticamente significativas.

As linhas contínuas, por sua vez, indicam relações hierárquicas entre os conceitos, conectando termos centrais a subconceitos diretamente relacionados, por exemplo, “força é uma interação”. Já as linhas tracejadas também podem expressar relações cruzadas ou transversais, denominadas *ligações cruzadas*, que conectam conceitos pertencentes a diferentes níveis hierárquicos dentro do mapa conceitual. Essas conexões revelam associações significativas entre segmentos do conhecimento que, à primeira vista, poderiam parecer desvinculados.

Isso implica dizer que, quando o aluno generaliza um determinado conceito, realiza uma reconciliação desse conceito com outros mais específicos. E, quando identifica uma especificidade em relação ao conceito mais geral, realiza uma diferenciação progressiva. Assim, o processo de aprendizagem é cíclico, com movimentos ascendentes e descendentes nas hierarquias conceituais, que atualizam continuamente os subsunçores.

Esse processo mental, exercido pelo aluno durante a aprendizagem significativa, pode ser desencadeado tanto pelo ensino por recepção quando o professor transmite o conteúdo, frequentemente associado ao chamado ensino tradicional quanto por metodologias ativas, como a aprendizagem por descoberta. Como resultado, a aprendizagem significativa pode ocorrer nas formas representacional, proposicional e conceitual. O subsunçor é modificado de maneira estável e pode ser utilizado para compreender novas situações.

Em outras palavras, quando o aluno aprende de forma significativa, ele é capaz de transferir o conhecimento para diferentes contextos. É importante destacar que o aluno que aprendeu significativamente pode “esquecer” ou ter algum conteúdo temporariamente obliterado; contudo, esse conhecimento é rapidamente recuperado devido às estruturas cognitivas já estabelecidas. Como afirmam Ribeiro, Silva e Koscianski (2012, p. 171): “Assim, a obliteração do conhecimento não implica em perda total, mas sim numa forma de integração que facilita a reaprendizagem quando necessário. Diferente da aprendizagem mecânica, onde o esquecimento é total e a reaprendizagem segue o mesmo procedimento da aprendizagem de algo novo, como se fosse a primeira vez”.

Por fim, é importante observar que não existe um mapa conceitual “certo” ou “errado”. O mapa conceitual de um aluno será diferente do de outro, e o mesmo estudante construirá mapas distintos sobre o mesmo tema ao longo do tempo. A aprendizagem é um processo contínuo.

## **2.2 Contextualização da impressão 3D**

“A origem da impressão 3D remonta à década de 1980, quando uma empresa japonesa mostrou a capacidade de produzir objetos com 4 mm de altura” (INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2022).

Desde então, essa tecnologia passou por contínuos avanços, incluindo a ampliação do tamanho dos objetos produzidos. A técnica ficou conhecida como manufatura aditiva porque os objetos são construídos camada a camada.

De acordo com Sanchez, Alessandro Uono et al. (2024), a impressão 3D tem impulsionado, sobretudo, a área médica. Conforme relatado pelos autores, essa técnica tem

possibilitado a reprodução fidedigna de estruturas anatômicas, como órgãos e ossos, contribuindo tanto para o planejamento e a comunicação entre médico e paciente em procedimentos cirúrgicos de alta complexidade quanto para a produção de próteses personalizadas, incluindo próteses dentárias.

Avanços recentes também têm demonstrado a viabilidade da bioimpressão, isto é, a produção de tecidos biologicamente funcionais destinados a transplantes.

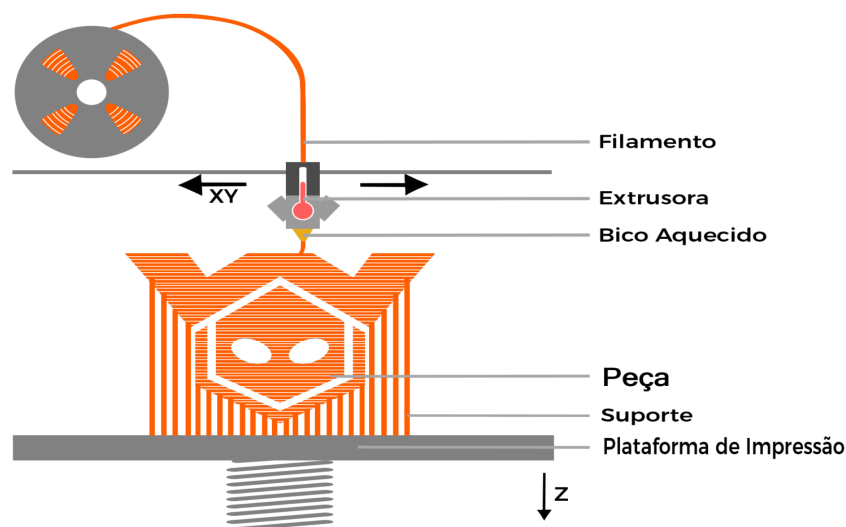
De modo geral, a primeira etapa do processo de impressão envolve a modelagem matemática do objeto ou o armazenamento de um modelo já pronto em arquivo com extensão compatível com softwares de impressão, como AutoCAD, SketchUp, SolidWorks, entre outros. Em seguida, o arquivo deve ser aberto em um software fatiador, conhecido como *Software Slicer*, no qual são ajustados os parâmetros de camada.

Após essa etapa, o arquivo ajustado no *Software Slicer*, convertido para o formato G-code, é enviado à impressora 3D, que produzirá a peça final camada por camada.

Segundo a AMS Brasil (2025), a manufatura aditiva pode ser realizada por diferentes métodos, entre os quais se destacam: (i) *Fused Deposition Modeling* (FDM), representado esquematicamente na Figura 2; e (ii) *Stereolithography* (SLA), ilustrado na Figura 3, baseado na fotopolimerização de resinas líquidas. Vale ressaltar que os softwares utilizados para impressoras SLA diferem daqueles empregados em impressoras FDM.

“A impressão do tipo FDM é a mais empregada, correspondendo a 69% das peças impressas disponíveis no mercado” (WISHBOX, 2020). Essa predominância pode ser explicada por sua simplicidade, acessibilidade e baixo custo. O principal material utilizado nesse processo é o plástico, que, ao ser aquecido, derrete e é extrudado pelo bico, que dosa a quantidade de material ponto a ponto. Entre os plásticos mais utilizados destaca-se o ácido polilático (PLA), o acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e o termoplástico de poliuretano (TPU).

**Figura 2** - Diagrama esquemático da impressão 3D por FDM



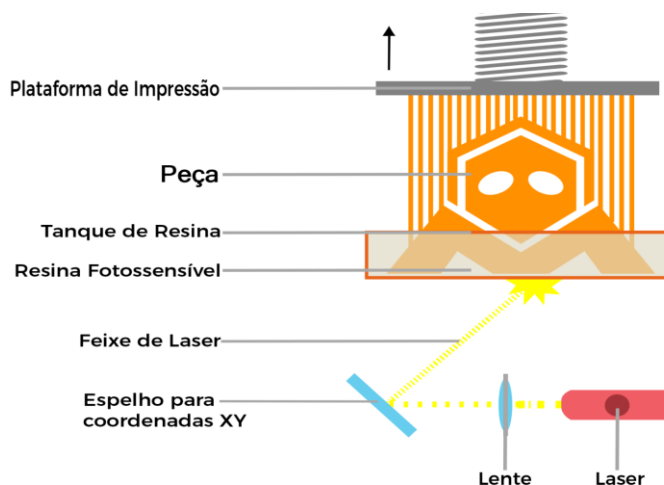
**Fonte:** Wishbox, 2020. Acesso em: 26 jan. 2025.

O PLA é um biopolímero oriundo de fontes renováveis e, por isso, caracteriza-se como um material ideal para a introdução à prática da impressão 3D, devido à sua facilidade de manuseio e à baixa emissão de vapores.

O ABS, por sua vez, destaca-se pela elevada resistência a impactos e a temperaturas mais altas, sendo apropriado para aplicações mecânicas mais exigentes. Contudo, requer condições específicas para impressão, como mesa aquecida e ambiente ventilado. Já o TPU, em razão de sua flexibilidade e acabamento maleável, permite a elaboração de peças elásticas, ampliando as possibilidades de projetos com forte apelo funcional e estético.

O método SLA, representado na Figura 3, corresponde a 18% do mercado mundial. Essa tecnologia surgiu no início da década de 1980, com o pesquisador Dr. Hideo Kodama, que utilizou luz ultravioleta (UV) para promover a cura de polímeros fotossensíveis. Esses polímeros são resinas que se solidificam por meio de um processo denominado fotopolimerização, no qual as cadeias monoméricas de carbono (C) são ativadas pela energia luminosa e tornam-se sólidas, formando ligações fortes entre si.

**Figura 3** - Diagrama esquemático da técnica SLA



**Fonte:** Wishbox, 2020. Acesso em: 26 jan. 2025.

O processo de fotopolimerização é irreversível, e não há como converter as peças produzidas por SLA novamente para o estado líquido, mesmo quando aquecidas. Elas queimam em vez de derreter. Isso ocorre porque os materiais utilizados na impressão SLA são polímeros termoendurecidos, em oposição aos termoplásticos empregados na impressão FDM.

Para melhorar a eficiência do processo, a luz é fornecida por um laser na faixa do ultravioleta (UV), que atravessa uma lente e atinge a resina, solidificando-a ponto a ponto sob o comando do software. Quando uma camada é finalizada, a plataforma se move e a lâmina varredora reveste a superfície com nova resina. O processo se repete até que a peça esteja concluída. Após a impressão, o objeto permanece em um estado “verde”, ainda sem cura total, exigindo um processamento adicional sob luz UV.

Na tecnologia de impressão por estereolitografia (SLA), as lentes ópticas desempenham papel fundamental na definição da qualidade final das peças produzidas. Sua principal função, em conjunto com o laser, é focalizar e direcionar com elevada precisão o feixe de luz ultravioleta responsável pela fotopolimerização da resina sensível à radiação. Além de delimitar o ponto de incidência luminosa, as lentes controlam simultaneamente o diâmetro e a intensidade do feixe, possibilitando a obtenção de objetos com alto grau de resolução e refinamento superficial.

Adicionalmente, esses dispositivos contribuem para o correto direcionamento da luz sobre a plataforma de impressão, minimizando distorções geométricas e assegurando que cada camada do objeto seja curada com rigor técnico em toda a extensão da superfície. Em virtude

dessas atribuições, as lentes constituem um componente indispensável na arquitetura óptica da impressora SLA, influenciando diretamente a fidelidade dimensional, o detalhamento estrutural e a integridade estética do artefato produzido.

A principal diferença entre a impressão SLA e a FDM reside no método de produção das peças; contudo, ambos os processos se enquadram na manufatura aditiva.

A inserção de laboratórios de prototipagem rápida no contexto das escolas públicas configura-se como um empreendimento multifacetado, que demanda não apenas a aquisição de equipamentos e infraestrutura tecnológica, mas também a consideração de aspectos operacionais e pedagógicos. A formação docente, nesse cenário, deve estar articulada à matriz curricular vigente, de modo a assegurar a integração significativa de tecnologias emergentes, como FDM e SLA, ao processo de ensino e aprendizagem. Embora ambas sejam classificadas como tecnologias de impressão 3D, apresentam especificidades técnicas, econômicas e operacionais que as distinguem substancialmente. Por essa razão, torna-se imperativo realizar uma análise criteriosa que subsidie decisões estratégicas, otimize o investimento público e maximize o retorno educacional e funcional decorrente da adoção dessas ferramentas.

Nesse sentido, a presente pesquisa realizou um levantamento dos preços médios praticados no mercado nacional, no período compreendido entre janeiro e junho de 2025, visando subsidiar a avaliação da viabilidade econômica e técnica da implementação desses dispositivos no ambiente escolar.

**Tabela 1** - Comparativo de custos de aquisição e operação.

COMPONENTE	FDM	SLA
<b>Impressora (aquisição)</b>	R\$ 2.000,00 - R\$ 5.000,00	R\$ 4.000,00 – R\$ 9.000,00
<b>Filamento/Resina (1kg/L)</b>	R\$ 80,00 – R\$ 150,00 (PLA)	R\$ 150,00 – R\$ 300,00 (Resina Standard)
<b>Insumos de Pós-Processamento</b>	Praticamente inexistentes	Álcool Isopropílico: ~R\$ 50,00/L Estação de Cura UV: R\$ 600,00 – R\$ 1.500,00
<b>Manutenção Preventiva</b>	Bico Extrusor: R\$ 20,00 – R\$ 50,00	Tanque de Resina (FVEP): R\$ 200,00 – R\$ 500,00

**Fonte:** Autor (2025).

Ao se analisar a relação entre custos e benefícios no contexto da educação pública, especialmente em ambientes escolares de grande escala, como as redes estaduais em âmbito nacional, torna-se evidente que a escolha tecnológica deve priorizar a robustez estrutural, a simplicidade operacional e a sustentabilidade financeira de longo prazo.

Nesse sentido, a tecnologia de impressão 3D por modelagem por deposição fundida (FDM) apresenta vantagens significativas. Seus sistemas mecânicos são mais simples, os componentes mais duráveis e a manutenção para poder ser realizado com maior autonomia pelos próprios professores, o que contribui para um suporte técnico mais acessível e eficaz. Em contrapartida, as impressoras baseadas em SLA, por utilizarem componentes ópticos sensíveis, estão mais suscetíveis a falhas complexas e exigem assistência técnica especializada. Embora a SLA produza peças com acabamento visual superior, a FDM mostra-se plenamente adequada para a maioria dos projetos pedagógicos previstos nas diretrizes curriculares, tais como protótipos de invenções, maquetes topográficas, etapas de robótica educacional e modelos matemáticos. A SLA, por sua alta precisão, implica custos operacionais significativamente mais elevados, o que a torna menos viável como tecnologia introdutória em larga escala.

A análise de viabilidade financeira reforça a adequação da FDM para implementação em redes estaduais de ensino. Seu custo inicial de aquisição é inferior, permitindo a compra de um número maior de unidades e, conseqüentemente, a ampliação do atendimento às escolas. Os custos de manutenção são previsíveis e substancialmente reduzidos, evitando sobrecarga orçamentária. Além disso, a facilidade de uso e a robustez da tecnologia alinham-se à realidade da infraestrutura e do suporte técnico disponível na maioria das instituições públicas de ensino.

Estudos apontam que a gestão eficiente dessa tecnologia pode reduzir em até 40% os gastos com materiais didáticos convencionais, proporcionando benefícios significativos no que diz respeito à personalização do ensino e ao aumento do engajamento pedagógico, conforme evidenciado por Smith (2021).

A reutilização e reciclagem de filamentos PLA constitui uma estratégia relevante para a promoção da economia circular em projetos educacionais. Tal propriedade revela-se uma alternativa sustentável e economicamente vantajosa (OLIVEIRA, 2023). Estudos experimentais indicam que essa prática pode gerar economia de até 50% nos gastos anuais com materiais, além de representar uma iniciativa interdisciplinar no âmbito da sustentabilidade (RODRIGUES; SILVA, 2023).

O compartilhamento de recursos em redes estaduais relacionadas à impressão 3D oferece às instituições públicas oportunidades para otimizar equipamentos e insumos, promovendo investimentos mais eficientes. Modelos que operam com empréstimos rotativos

de impressoras e distribuição centralizada de filamentos têm demonstrado capacidade de reduzir os custos per capita em até 45%, viabilizando abordagens padronizadas e acessíveis. Ademais, a criação de bancos compartilhados de modelos educacionais, aliada ao desenvolvimento de repositórios abertos de modelos 3D, permite o acesso gratuito a milhares de projetos previamente testados e otimizados. Essa iniciativa não apenas eleva a qualidade do ensino ao evitar gastos com desenvolvimento próprio, mas também economiza tempo, sobretudo em horas anuais de trabalho docente dedicadas à elaboração de protótipos, conforme destacado por Lee e Chen (2023).

Um exemplo ilustrativo é o projeto *FabLab Educa*, que demonstra que essas colaborações podem cobrir até 70% dos gastos operacionais (SANTOS, 2023).

Em síntese, o custo de produção de objetos 3D para fins educacionais é significativamente menor quando comparado ao processo industrial. Estudos mostram que modelos como Ender-3 e Prusa i3 podem ser adquiridos com valores até 60% inferiores em relação a alternativas comerciais, sem comprometer a qualidade necessária à aplicação educacional (GARCIA; MARTINS, 2022).

A otimização no uso de materiais visa minimizar desperdícios, adotando estratégias como o ajuste de parâmetros de impressão, densidade de preenchimento, espessura das camadas, entre outros. Essa abordagem permite reduzir em até 35% o consumo de filamentos, sem comprometer a funcionalidade dos modelos didáticos. Além disso, a utilização de algoritmos avançados de fatiamento, disponíveis em softwares gratuitos, possibilita o cálculo preciso da quantidade mínima de material necessária para cada projeto.

Dados de uma pesquisa realizada pelo Ministério da Educação da França indicam que escolas com pelo menos dois professores capacitados em operações básicas de impressão 3D conseguiram reduzir em até 55% os gastos com suporte técnico externo (DUBOIS, 2023).

De acordo com Cavalcante e Oliveira (2020), há uma crescente valorização do uso dessa tecnologia no processo educacional, constituindo-se como elemento estratégico para o preenchimento de lacunas metodológicas e conceituais no ensino de Ciências e Matemática. Além disso, os autores destacam que esse recurso tecnológico oferece subsídios relevantes para a formulação de políticas sociais e educacionais mais eficazes, orientadas pelo desenvolvimento de competências, pela equidade e pela inclusão no processo formativo.

“Por outro lado, especula-se que o uso desta tecnologia no ambiente escolar possa favorecer o processo de ensino e aprendizagem” (SOUZA et al., 2024).



Consoante a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a incorporação desse recurso configura-se como estratégia que contribui para a formação das competências gerais, afirmando que:

A competência comunicacional requer não apenas a compreensão e o uso adequado das tecnologias emergentes, mas também a capacidade de criar e interagir com essas ferramentas de modo crítico, significativo e reflexivo. Tal prática demanda o compromisso ético nas diversas dimensões sociais, inclusive no contexto escolar, em que o acesso e o compartilhamento de informações devem ocorrer de forma consciente e responsável. Nessa perspectiva, o ambiente educacional configura-se como espaço privilegiado para a construção colaborativa de saberes, em que o uso ético e criativo dos recursos digitais contribui para a resolução de problemas reais e para o fortalecimento da autoria tanto no âmbito individual quanto coletivo. (BRASIL, 2018, p. 9).

Segundo Jorge (2020), a integração da tecnologia de impressão 3D ao contexto educacional configura-se como uma estratégia didático-pedagógica promissora, ao potencializar os recursos disponíveis para a atuação do professor e ampliar significativamente as possibilidades de aprendizagem dos alunos.

“Devido à sua natureza interdisciplinar, propicia um ambiente pedagógico no qual os alunos são incentivados a reconhecer a aplicabilidade dos conceitos em múltiplos contextos, estabelecendo conexões significativas entre diferentes áreas do saber” (BANEGAS; KERR; OGUSUCU, 2024).

Nesse cenário, a incorporação da impressão 3D ao ambiente escolar revela-se não apenas uma inovação tecnológica, mas uma estratégia pedagógica capaz de ampliar as possibilidades formativas e fortalecer a construção de conhecimentos de maneira integrada e contextualizada. Como apontam Jorge (2020) e Banegas, Kerr e Ogusucu (2024), trata-se de um recurso que favorece a interdisciplinaridade, estimula a aplicação prática dos conceitos e promove conexões significativas entre diferentes áreas do saber. Assim, ao articular fundamentos teóricos, viabilidade econômica e potencial pedagógico, evidencia-se que a impressão 3D constitui um instrumento promissor para qualificar o processo de ensino e aprendizagem, contribuindo para uma educação mais equitativa, criativa e alinhada às demandas.

### 2.3 A impressão 3D no processo ensino e aprendizagem: o que diz a literatura

Como já apontado, a impressão 3D baseada na tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*) de código aberto configura-se como uma alternativa economicamente viável para o contexto das escolas públicas.

Apesar dessa redução de custos e de seu potencial inovador, a impressão 3D no ambiente educacional enfrenta desafios práticos e pedagógicos que podem comprometer seus benefícios. Um dos problemas mais recorrentes envolve falhas térmicas durante o processo de impressão, como entupimento da extrusora, má aderência à mesa, empenamento do material e erros de fatiamento. Esses obstáculos não apenas consomem tempo valioso da aula, mas também podem gerar frustração entre alunos e professores, especialmente em instituições com pouca infraestrutura para manutenção e suporte técnico.

A repetição dessas falhas tecnológicas pode desviar o foco da aprendizagem, deslocando-o do conteúdo pedagógico para a resolução de problemas operacionais, comprometendo, assim, os objetivos inicialmente delineados.

Outro aspecto crítico refere-se ao risco de os alunos priorizarem apenas o produto final, quando o processo de produção também deve ser explorado. Muitas vezes, a empolgação com a nova tecnologia faz com que o objeto impresso se torne o elemento central da atividade, enquanto os conceitos fundamentais que deveriam ser trabalhados durante a modelagem 3D são negligenciados. Isso pode resultar em uma aprendizagem superficial, na qual os alunos memorizam mecanicamente as etapas de operação da impressora, mas não desenvolvem habilidades essenciais como pensamento espacial e resolução de problemas nem compreendem a aplicação teórica dos conhecimentos envolvidos.

Além disso, observa-se uma tendência de reduzir o uso da impressão 3D a projetos isolados, sem integração consistente ao currículo escolar. Em vez de ser empregada como ferramenta transversal que fomenta a interdisciplinaridade, conforme propõe a abordagem STEAM, a tecnologia acaba sendo aplicada de forma pontual, sem conexão com outras disciplinas. Um exemplo disso é a impressão de modelos moleculares que se restringem à mera reprodução física.

Essa fragmentação reforça uma abordagem tecnicista, na qual a tecnologia é tratada como um fim em si, e não como um meio para a construção significativa do conhecimento.

Adicionalmente, a impressão 3D pode acentuar desigualdades dentro da sala de aula, pois há o risco de que sua utilização favoreça apenas os alunos que já possuem familiaridade com ferramentas digitais, enquanto outros podem enfrentar dificuldades devido à falta de experiência com softwares de modelagem ou à ausência de acesso a equipamentos fora do

ambiente escolar. Sem uma mediação pedagógica cuidadosa, essa tecnologia pode aprofundar desigualdades existentes, em vez de promover a inclusão.

## **2.4 A impressão 3D como organizador prévio**

Como já foi exposto, a proposta aqui é investigar se a impressão 3D pode ser utilizada como um OP.

Para demonstrar para o leitor as contribuições desta pesquisa no cenário educacional, nesta secção, apresentamos uma revisão bibliográfica, sobre o uso da impressão 3D no processo ensino e aprendizagem, enfatizando a possibilidade de utilizá-la como um OP.

As buscas, conduzidas durante o mês de julho de 2025, no ‘Google Acadêmico’, utilizando as palavras-chave “organizadores prévios” e “impressão 3D”, simultaneamente, sem recorte temporal, resultaram em 24 documentos.

Uma leitura prévia dos resumos destes 24 documentos, nos levou a identificar 11 trabalhos em potencial lidos na íntegra. Entre estes, 4 artigos mostraram tratar, de fato, sobre o tema. A análise dos estudos existentes revela que a impressão 3D tem sido posicionada como uma ferramenta com potencial disruptivo para o ensino de Ciências, especialmente quando considerada sob três eixos estruturantes: prototipagem, experimentação e inovação pedagógica. No entanto, ao se proceder à identificação de lacunas na literatura, observa-se uma significativa ausência de investigações que articulem o uso da impressão 3D com a aplicação de organizadores prévios, conforme os pressupostos da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. Essa carência evidencia uma lacuna substancial e ainda pouco explorada, uma vez que não se encontram, na produção científica atual, estudos que examinem o objeto impresso em 3D como recurso introdutório capaz de favorecer a ancoragem de novos conhecimentos no campo das Ciências.

Embora os trabalhos de Torres (2020), Silva (2021) e Garcia e Martins (2022) ofereçam contribuições relevantes, observa-se que tais pesquisas tratam o objeto impresso como produto final seja como modelo a ser observado, seja como instrumento para atividades experimentais, contudo, propor seu uso estratégico como elemento mediador na preparação cognitiva para conteúdos complexos. Essa limitação conceitual deixa em aberto uma importante lacuna tanto no âmbito da tecnologia educacional quanto na didática das Ciências.

Dessa forma, preencher tais lacunas não constituem apenas uma sofisticação acadêmica, mas representa uma necessidade premente para o avanço das interfaces entre tecnologia e pedagogia, justificando, portanto, a pertinência e a relevância da presente investigação, pautada na inovação conceitual e no compromisso com a melhoria dos processos de ensino e aprendizagem.

A lacuna identificada não se configura como uma simples omissão bibliográfica, mas revela-se como uma fronteira epistemológica ainda não suficientemente explorada. A partir da perspectiva teórica de David Ausubel, a investigação sobre o uso da impressão 3D no ensino de Ciências permite delinear um terreno fértil para o desenvolvimento de uma linha de pesquisa mais consistente, capaz de oferecer contribuições relevantes tanto para o campo da didática das Ciências quanto para a área da tecnologia educacional. Ao propor uma abordagem metodológica que articula o uso de recursos em 3D com princípios de aprendizagem significativa, esta pesquisa não apenas introduz uma estratégia pedagógica inovadora e teoricamente fundamentada, como também atribui um novo sentido ao emprego de ferramentas tecnológicas já disponíveis, conferindo-lhes sofisticação didática e intencionalidade formativa. Nesse contexto, a lacuna ora evidenciada assume o papel de problema central, justificando a pertinência da presente investigação, cujas contribuições originais têm o potencial de inaugurar um campo significativo de práticas e reflexões no âmbito do ensino de Ciências. O Quadro 1 identifica estes trabalhos.

O primeiro trabalho é um artigo identificado aqui por (ART01). Ele trata sobre a impressão 3D de microrganismos, como microalgas e cianobactérias, durante um curso de extensão universitária. Segundo os autores, a proposta surgiu da constatação da dificuldade dos alunos em imaginar estruturas microscópicas. Eles descrevem que fizeram a coleta de amostras em ambientes diversos, processamento laboratorial para identificação das espécies e modelagem 3D, com destaque para estruturas biológicas específicas. Os modelos foram impressos com filamento PLA, respeitando parâmetros técnicos de espessura e proporção. As limitações, como apontadas pelos autores, se referem as dimensões da área de impressão e a duração do processo, que varia entre 1h24min e 5h, conforme a complexidade do modelo. Porém, os autores destacaram o potencial da impressão 3D na mediação didática de estruturas microscópicas, especialmente no contexto da biologia e apontam que a impressão 3D foi o recurso pedagógico mais adequado para a visualização destes organismos.

O segundo artigo (ART02) se insere numa proposta pedagógica do tipo “faça você mesmo” ou cultura *maker* para a formação continuada de professores. A iniciativa visou capacitar o professor da rede pública para que eles pudessem desenvolver os seus próprios recursos didáticos. Os referenciais pedagógicos, como apontados pelos autores, se baseiam nas metodologias ativas de Dewey e Freire com a formação do professor como defendida por Gatti e Delors. O artigo aponta que a atividade está conforme o desenvolvimento das habilidades, conforme a BNCC e os Parâmetros Curriculares Nacionais ou PCNs. A pesquisa foi conduzida no Laboratório do Instituto Federal de Minas Gerais (FAB) em parceria com bolsistas da

Universidade Federal, também de Minas Gerais. O referido curso envolveu aulas online, em que os participantes utilizaram a plataforma Tinkercad para modelagem 3D e oficinas presenciais para impressão de materiais didáticos, como modelos de células e estruturas de DNA.

**Tabela 2** - Artigos/dissertações que utilizam a impressão 3D como Organizador Prévio.

<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES/ PAÍS</b>	<b>REVISTA</b>	<b>ANO</b>
<b>ART01 -</b> Desenvolvimento de modelos impressos em 3d para o ensino de ciências	Sueny Calazans dos Santos Palaio, Marcus Vinicius Lima de Almeida, Camila Maistro Patreze. Rio de Janeiro - Brasil	Revista ensino de ciências e tecnologia	2018
<b>ART02 –</b> Movimento maker e educação no ensino de ciências: desenvolvimento de um curso para professores na criação de materiais didáticos open source com o uso de impressão 3d.	Janete Amorim Ribeiro e Prof. Dr. Alfredo Luis Martins Lameirão Mateus.  Belo Horizonte – Brasil.	Universidade federal de minas gerais Programa de pós-graduação Em educação e docência.	2023
<b>ART03 -</b> Desenvolvimento de um material didático inclusivo e uma sequência didática sobre virologia, com uso de modelagem e impressão 3d, para alunos do ensino médio.	Deborah Senra Amado e Prof. Dr. Lúcio Paulo Amaral Crivano Machado.  Rio de Janeiro - Brasil	Universidade estadual do rio de janeiro.	2022
<b>ART04 –</b> Uso da impressão 3d no ensino e aprendizagem: revisão sistemática sobre os principais problemas encontrados.	Renata Cury Caruso, Sani de Carvalho Rutz da Silva e Renato Marcondes.  Brasil	Boletim de conjuntura - ano v   volume 16   n.º 47.	2023

**Fonte:** Autor (2025).

No artigo ART02, os autores relataram como problema a restrição dos professores ao acesso às impressoras 3D nas escolas públicas, as limitações relacionadas à familiaridade com softwares de modelagem, a falta de tempo para a impressão dos objetos e a ausência de

referências de abordagem didático-pedagógica. Os autores também apontaram uma alta taxa de evasão no curso ofertado: das 37 inscrições, apenas 9 participantes concluíram as atividades. Como proposta, recomendam a ampliação da formação docente, a criação de bancos de modelos por disciplina e o estabelecimento de parcerias institucionais que garantam a infraestrutura necessária para a adoção efetiva da tecnologia.

O terceiro artigo (ART03), fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), abordou conteúdos de virologia para alunos do ensino médio da rede estadual do Rio de Janeiro, incluindo alunos com deficiência intelectual e dificuldades de aprendizagem. Foram desenvolvidos modelos físicos de vírus, impressos em filamento PLA, para tornar o conteúdo mais concreto. Produziram-se modelos representativos de vírus com quatro morfologias distintas: helicoidal, icosaédrica, esférica e complexa. Os modelos foram elaborados em softwares de design, como o Tinkercad, e um questionário diagnóstico foi aplicado para mapear os saberes prévios dos alunos.

No mesmo artigo, os autores discutiram os principais obstáculos enfrentados por professores e alunos no ensino de geologia, destacando a abstração dos conceitos, os altos custos de aquisição de materiais, a necessidade de equipamentos específicos e os ajustes técnicos exigidos para a impressão, como suporte, nivelamento e acabamento. Ainda assim, apontam a necessidade de ampliar o uso da impressão 3D no ambiente escolar.

O quarto artigo (ART04) apresenta uma revisão sistemática nas bases SciELO Brasil, Oasisbr, Google Acadêmico, Scopus e Web of Science, utilizando as palavras-chave de impressão 3D, *FDM* e *parâmetros da impressão 3D*, para identificar os principais problemas e soluções relacionados aos processos de impressão 3D. Os autores encontraram 44 pesquisas que atendiam aos critérios de inclusão, desenvolvidas principalmente na China e no Brasil. Os problemas identificados foram categorizados em 11 classes, organizadas dos efeitos às causas: aderência da primeira camada à mesa de impressão; efeitos da temperatura no resultado; propriedades mecânicas alcançadas; adesão entre camadas; software de impressão 3D; *stringing*; variações geométricas; umidade no filamento; acabamento superficial; necessidade de suportes; e impressão multimaterial. Esses resultados contribuem para a otimização do uso de impressoras 3D em ambientes educacionais, permitindo que professores desenvolvam objetos com maior qualidade e sem a necessidade de testes excessivos, reduzindo a perda de material e o tempo de trabalho, e facilitando o acesso e o uso dessa técnica.

Constata-se, portanto, que o processo de implementação da impressão 3D nas escolas ainda é incipiente. Entretanto, as análises dos quatro artigos revelam um consenso quanto ao potencial transformador dessa tecnologia no ensino de Ciências, sobretudo pela possibilidade

de materializar conceitos abstratos, como estruturas celulares ou micro-organismos. Todavia, a incorporação efetiva da impressão 3D ao currículo escolar enfrenta desafios que extrapolam a escassez de resultados empíricos, incluindo barreiras financeiras, lacunas na formação continuada de professores, dificuldades técnicas relacionadas à modelagem digital e à operação dos equipamentos, além da insuficiência de infraestrutura adequada nas escolas.

A análise crítica das produções acadêmicas examinadas evidencia uma lacuna substancial no tratamento teórico da impressão 3D, especialmente no que se refere à sua função como organizador prévio no processo de ensino e aprendizagem. Observa-se que esses trabalhos carecem de fundamentação teórica robusta, não apresentando citações diretas nem estudos sistemáticos que articulem, de forma explícita, o papel da impressão 3D como recurso introdutório capaz de favorecer a aprendizagem significativa. Em sua maioria, as pesquisas tratam a tecnologia como instrumento de ilustração, simulação ou como produto final de uma atividade pedagógica, negligenciando sua potencialidade enquanto ferramenta estruturante, cuja finalidade seria ativar subsunçores e promover a construção de estruturas cognitivas que facilitem a assimilação de novos conhecimentos.

A democratização do acesso à impressão 3D depende, necessariamente, da formulação de políticas públicas que estimulem a aquisição de equipamentos, a produção de materiais didáticos de código aberto e a capacitação docente voltada ao uso pedagógico da tecnologia. A impressão 3D representa, assim, um avanço relevante para a didática no ensino de Ciências, configurando-se como uma via promissora para uma educação mais interativa, inclusiva e eficaz. A superação dos entraves identificados requer um esforço colaborativo entre pesquisadores, educadores, formuladores de políticas públicas e representantes da indústria. Somente por meio de ações integradas e contínuas será possível construir um cenário em que a aprendizagem científica se torne verdadeiramente acessível, significativa e envolvente para todos os alunos. A continuidade das pesquisas e o compartilhamento de experiências exitosas serão fundamentais para consolidar a impressão 3D como ferramenta pedagógica.

### 3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

Esta pesquisa caracteriza-se como qualitativa e exploratória, visto que busca fundamentar o uso da impressão 3D como recurso didático e evidenciar, ao leitor, as contribuições que essa tecnologia representa para a literatura vigente.

Nesse contexto, propõe-se uma investigação que ultrapassa a superficialidade dos dados e adentra a complexidade dos saberes e a potência da prática educativa. A revisão da literatura permite entrelaçar diferentes vozes e perspectivas, construindo uma base de conhecimento sobre as temáticas que sustentam a impressão 3D como metodologia de ensino. Os propósitos aqui são compreender para aprimorar e investigar para inspirar.

A revisão da literatura, segundo Souza, Silva e Carvalho (2010, p. 103), “é um método que proporciona a síntese de conhecimento e a incorporação da aplicabilidade de resultados de estudos significativos, na prática”. Ainda conforme os autores, trata-se da abordagem metodológica mais abrangente entre os tipos de revisão, pois possibilita a incorporação de estudos experimentais e não experimentais, permitindo uma compreensão ampla do fenômeno analisado. Esse tipo de revisão pode ser empregado para organizar e agrupar estudos publicados sobre o tema de interesse, além de identificar, analisar e sintetizar as contribuições de diferentes trabalhos relacionados ao assunto investigado.

Segundo Gil (2002), pesquisas exploratórias visam proporcionar uma compreensão mais aprofundada de um problema, contribuindo para o refinamento de conceitos e para a ampliação dos tópicos associados ao tema em estudo.

Por outro lado, as transformações tecnológicas que remodelam continuamente o cotidiano, como aprendemos e, conseqüentemente, o universo educacional, exigem abordagens que promovam sentido, conexão e aplicabilidade. Assim, apresenta-se também uma descrição passo a passo do processo de impressão 3D, de modo a servir como guia para professores em geral.

#### 3.1 O software Bambu Studio

A otimização dos processos de fatiamento constitui um dos pilares fundamentais para garantir a qualidade e a fidelidade dos objetos tridimensionais produzidos por impressão 3D. Nesse contexto, o software livre **Bambu Studio (BS)**, desenvolvido pela empresa Bambu Lab, destaca-se como uma ferramenta robusta e amplamente compatível com diversos modelos de impressoras 3D.

Para instalar o BS, o usuário deve acessar o endereço eletrônico <<https://bambulab.com>>. A correta execução desse procedimento assegura uma interação



eficiente entre o usuário e o aparato tecnológico, permitindo que o software desempenhe adequadamente sua função mediadora na transição dos projetos conceituais para a materialização física. Assim, a instalação não se limita a um requisito técnico, mas constitui o fundamento operacional para todas as etapas subsequentes do processo de produção.

Após a instalação, é possível configurar os parâmetros específicos de impressão e exportar o modelo digital no formato **G-code**, linguagem computacional adotada pelas impressoras 3D. Concluída essa etapa, torna-se imprescindível realizar a configuração inicial da impressora, garantindo precisão e estabilidade durante a fabricação aditiva.

O BS foi concebido para converter modelos digitais em comandos compreensíveis pelas impressoras 3D, definindo parâmetros essenciais como altura de camada, taxa de preenchimento, estruturas de suporte e controle de temperatura. Sua interface é intuitiva, adaptável, simples de instalar e compatível com os sistemas operacionais Windows, macOS e Linux. Além disso, integra-se a sistemas de impressão multicolorida via Wi-Fi, como o **AMS (Automatic Material System)**, que permite a troca automática de filamentos durante a impressão. Esses atributos tornam o BS especialmente adequado ao contexto educacional. O software deriva do projeto de código aberto **PrusaSlicer**, amplamente utilizado na preparação de arquivos digitais para impressão 3D.

A interface do BS permite converter arquivos nos formatos **STL (Stereolithography)** e **3MF (3D Manufacturing Format)** em G-code, possibilitando a execução precisa do processo de impressão por meio da leitura sequencial das instruções codificadas. Enquanto o formato STL contempla apenas a geometria do modelo, o 3MF oferece informações adicionais, como coloração, materiais e atributos não geométricos relevantes para a impressão.

O G-code gerado pelo BS é compatível tanto com impressoras FDM/FFF convencionais quanto com os equipamentos da Bambu Lab, assegurando a execução fidedigna das camadas ao longo do processo de manufatura aditiva. Embora softwares tradicionais utilizem comandos genéricos para movimentação linear e controle térmico, os modelos da Bambu Lab operam com uma versão otimizada do G-code, incorporando instruções avançadas destinadas a funcionalidades exclusivas, como o sistema AMS. Apesar dessas particularidades, a estrutura matricial do G-code permanece preservada, garantindo sua interpretabilidade por diferentes impressoras 3D.

Dessa forma, o BS desempenha o papel de refinar e potencializar essa linguagem, extraindo o máximo desempenho dos dispositivos da Bambu Lab sem comprometer a aderência ao padrão universal. Assim, seja em tecnologias convencionais ou em sistemas de última

geração, o G-code mantém-se como elemento central da manufatura digital, viabilizando com precisão a concretização de projetos tridimensionais.

A Figura 4 apresenta a interface gráfica do BS, evidenciando os fluxos de trabalho, os projetos em andamento e os recursos de otimização que proporcionam uma experiência de impressão fluida, eficiente e visualmente orientada.

Após o download, o processo de instalação é conduzido por um assistente automatizado, com etapas intuitivas e adaptadas aos diferentes sistemas operacionais. Trata-se de um procedimento simplificado e suficientemente orientado para que usuários com distintos níveis de familiaridade tecnológica possam realizar a implementação com segurança e eficácia.

Nesta pesquisa, utilizou-se o modelo **Bambu Lab A1**, cujos procedimentos de configuração são análogos aos das demais impressoras da fabricante. A configuração inicial envolve parâmetros essenciais, como dimensões da área útil de impressão, tipo de extrusora e diâmetro do filamento definido, neste caso, como **1,75 mm** critérios que impactam diretamente a fidelidade da impressão e o desempenho do equipamento.

Figura 4 - Interface do Bambu Studio.

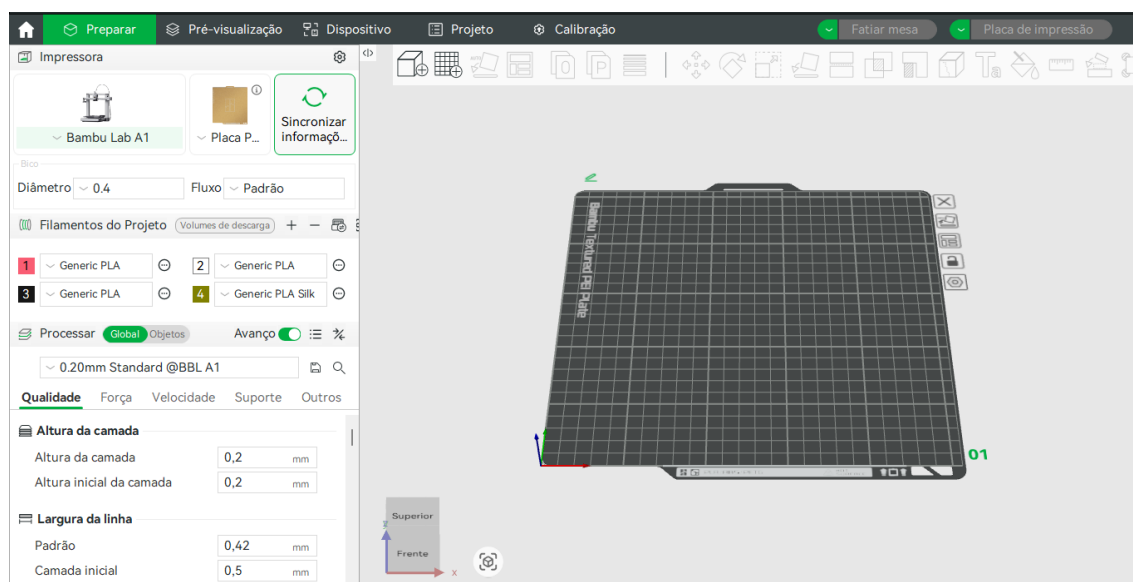


**Fonte:** Autor (2025).

A Figura 5 ilustra a interface do BS, evidenciando sua simplicidade e a adaptação às diferentes plataformas operacionais disponíveis. A representação gráfica destaca não apenas a eficácia do assistente de instalação, mas também a estrutura funcional do software, que reúne

recursos de modelagem, organização de projetos e otimização dos fluxos de trabalho, proporcionando ao usuário uma experiência fluida, intuitiva e orientada.

Figura 5 - Procedimento de instalação.



**Fonte:** Autor (2025).

Ao garantir a integridade funcional do processo de fatiamento, o BS viabiliza a conversão de modelos digitais em instruções precisas e compatíveis com os sistemas de impressão 3D, constituindo-se como componente central para o êxito da produção material. Esse procedimento assegura que as camadas sejam logicamente organizadas e eficientemente distribuídas, promovendo tanto a qualidade técnica quanto a viabilidade estrutural dos artefatos produzidos. Nessa perspectiva, o modelo digital atua como elo fundamental entre o exercício criativo do educando e a efetivação prática do projeto concebido, fortalecendo a dimensão formativa da experiência.

Concluída a etapa de importação do modelo digital para o ambiente BS, procede-se à configuração dos parâmetros de impressão, cuja definição exerce papel determinante na qualidade, funcionalidade e fidelidade geométrica da peça resultante. O processo de fatiamento etapa subsequente refere-se à conversão do objeto tridimensional em camadas sucessivas (*slices*), interpretadas pela impressora como um conjunto sequencial de instruções operacionais que conduzem à fabricação do artefato por deposição aditiva.

Nesse contexto, foram definidos parâmetros técnicos e pedagógicos para a aplicação da impressão 3D no ambiente educacional, contemplando a produção de modelos didáticos, como o pêndulo duplo e os sólidos de Platão. A partir da modelagem por decomposição, especificaram-se os procedimentos necessários à fabricação aditiva desses modelos físicos,

utilizando diferentes tecnologias de impressão. Essa sistematização resultou na elaboração de um guia replicável, capaz de assegurar a produção de peças com qualidade geométrica, resistência mecânica e acabamento superficial adequados ao uso em contextos de ensino.

A utilização de modelos físicos como recurso pedagógico revela-se de grande valor, sobretudo pela capacidade de concretizar sistemas complexos e abstratos. O pêndulo duplo, por exemplo, permite a visualização direta de conceitos relacionados à mecânica clássica, à teoria do caos e à dinâmica não linear. De forma análoga, a manipulação dos sólidos de Platão (tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro) favorece a compreensão de princípios fundamentais da geometria euclidiana, da simetria e da topologia, promovendo uma aprendizagem mais tangível e significativa.

Entre as técnicas de impressão disponíveis, destacam-se, pela acessibilidade e qualidade, as impressoras FDM, que operam com filamentos termoplásticos e apresentam robustez estrutural, baixo custo operacional e adequação à produção de peças de maior porte. Já a tecnologia SLA, que utiliza resinas fotopolimerizáveis, oferece elevada precisão dimensional e acabamento superficial superior, sendo especialmente indicada para modelos que exigem riqueza de detalhes e transparência. A escolha por ambas as abordagens se justifica pela intenção de oferecer um espectro abrangente de possibilidades, permitindo ao professor selecionar a tecnologia mais apropriada em função dos recursos disponíveis e dos objetivos pedagógicos específicos.

Dentre os parâmetros técnicos ajustados no contexto deste estudo, destacam-se:

- **Altura da camada:** responsável pela resolução vertical da impressão, influencia diretamente a suavidade das superfícies e a definição dos contornos. Adotou-se o valor de **0,2 mm**, amplamente referenciado na literatura por equilibrar qualidade de acabamento e rapidez no processo de impressão.
- **Densidade de preenchimento:** define a porcentagem de material interno da peça, impactando peso, resistência e tempo de execução. Estabeleceram-se **10% de preenchimento**, adequado para modelos não estruturais, nos quais não se exige alto desempenho mecânico.
- **Temperaturas de extrusão e da mesa aquecida:** definidas conforme as propriedades térmicas do filamento. Para o PLA, adotaram-se **220 °C** no bico extrusor e **55 °C** na mesa aquecida, valores que garantem aderência eficiente, fluidez controlada e estabilidade dimensional ao longo da impressão.
- **Velocidade de impressão:** influencia diretamente o tempo de produção e a qualidade superficial. Fixou-se a velocidade de **100 mm/s**, considerada adequada para fins

acadêmicos e didáticos, por representar um equilíbrio entre produtividade e integridade visual dos modelos.

Diante do exposto, evidencia-se que a impressão 3D, quando articulada a procedimentos sistematizados de modelagem, fatiamento e configuração técnica, constitui um recurso pedagógico potente para a materialização de conceitos abstratos e para o fortalecimento da aprendizagem significativa. A utilização do Bambu Studio, aliada à definição criteriosa dos parâmetros de impressão, permite não apenas a produção de artefatos com qualidade geométrica e funcional, mas também a construção de experiências formativas que integram criatividade, experimentação e rigor conceitual.

Ao transformar modelos digitais em objetos manipuláveis, a impressão 3D amplia as possibilidades de investigação no ambiente escolar, favorecendo a compreensão de fenômenos complexos e estimulando o protagonismo intelectual dos alunos. Assim, a sistematização apresentada neste estudo oferece um caminho replicável e acessível para professores que desejam incorporar a manufatura aditiva ao ensino de Ciências, contribuindo para uma prática pedagógica mais interativa, contextualizada e alinhada às demandas contemporâneas da educação.

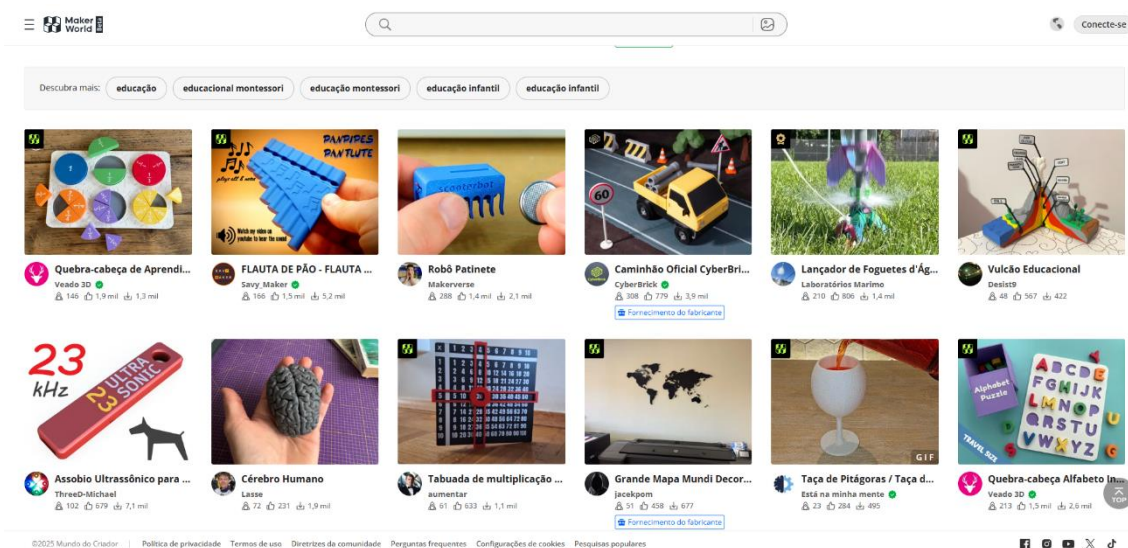
### 3.2 Parâmetros gerais de modelagem e preparação

Ao considerar o percurso que se estende desde a etapa de modelagem até o processo de fatiamento para impressão 3D, torna-se pertinente inserir nesse contexto ambientes digitais colaborativos voltados ao compartilhamento de modelos tridimensionais. Um exemplo representativo é a plataforma **MakerWorld** (<<https://makerworld.com/pt>>), concebida como um espaço virtual destinado ao armazenamento, difusão e intercâmbio de arquivos 3D.

Esse ambiente assume papel central no fortalecimento de práticas educativas baseadas na experimentação, ao disponibilizar gratuitamente uma ampla variedade de modelos nos formatos **STL** e **OBJ**, compatíveis com diferentes tecnologias de impressão. Fundamentada na lógica colaborativa, a plataforma permite que usuários de diversas partes do mundo publiquem, compartilhem e aprimorem objetos digitais, consolidando-se como um espaço dinâmico voltado à inovação, ao ensino e à pesquisa.

Nesse sentido, o MakerWorld transcende a função de repositório técnico, configurando-se como um ambiente de circulação de saberes que favorece práticas pedagógicas criativas, interdisciplinares e acessíveis. A Figura 6 apresenta sua interface gráfica, na qual se evidenciam os fluxos de trabalho, os projetos em andamento e os recursos de otimização que viabilizam uma experiência de impressão fluida, eficiente e visualmente orientada.

Figura 6 - Interface MakerWorld.



**Fonte:** MakerWorld (2025).

O processo de obtenção de modelos por meio da plataforma é intuitivo e acessível. A busca pode ser realizada por palavras-chave, como “double pendulum” ou “pêndulo duplo”, permitindo localizar diferentes versões desenvolvidas por diversos autores. Após a seleção do projeto, os arquivos digitais nos formatos STL ou OBJ podem ser baixados e armazenados localmente. A comunidade de usuários desempenha papel essencial nesse processo, não apenas ao disponibilizar os modelos, mas também ao compartilhar instruções, adaptações e relatos de experiências de impressão, fortalecendo a construção coletiva do conhecimento.

Como exemplo prático, o modelo 3D do pêndulo duplo disponível na plataforma ilustra com precisão comportamentos dinâmicos não lineares e caóticos, sendo amplamente reconhecido como um caso clássico no estudo da Física. Sua relevância didática decorre do fato de que, embora sua formulação matemática seja relativamente acessível, a previsão de seu movimento é extremamente complexa devido à sensibilidade às condições iniciais. A versão impressa em 3D proporciona uma vivência concreta desse fenômeno, permitindo que os alunos visualizem e manipulem o sistema em situações práticas. O objeto, nesse contexto, atua como mediador da aprendizagem, convertendo conceitos abstratos em experiências tangíveis.

Após a obtenção do arquivo digital, torna-se necessária a utilização de um software de fatiamento, como o BS, para preparar o modelo para impressão. Tecnologias como FDM e SLA permitem configurar parâmetros fundamentais altura de camada, espessura de parede, densidade de preenchimento, temperatura do bico extrusor e da mesa aquecida, além da

velocidade de impressão. Essa etapa é crucial para assegurar que o modelo físico apresente resistência mecânica e precisão geométrica compatíveis com sua aplicação didática, evitando falhas estruturais que comprometam a demonstração experimental.

No contexto pedagógico, o pêndulo duplo impresso pode ser explorado em múltiplas frentes, especialmente em aulas de Física, onde possibilita a observação prática de movimentos caóticos e não lineares. Na área da Matemática, pode ser utilizado como organizador prévio para o estudo de equações diferenciais e funções complexas. A disponibilidade desse recurso palpável permite ao professor criar condições para que conceitos abstratos ganhem materialidade, potencializando a aprendizagem significativa e o engajamento dos alunos. O exemplo do pêndulo duplo evidencia, portanto, como a disponibilização aberta de modelos tridimensionais pode transformar substancialmente as práticas de ensino, aproximando teoria e prática de forma alinhada às demandas contemporâneas da educação.

### 3.3 Análise técnica e comparativa da impressão 3D

A produção de modelos físicos tridimensionais, tais como o pêndulo duplo e os sólidos de Platão, demanda a definição rigorosa de parâmetros técnicos que assegurem tanto a funcionalidade dos protótipos quanto sua adequação ao contexto pedagógico. Esta proposta tem por finalidade oferecer um guia técnico sistematizado para a aplicação eficiente da impressão 3D no ambiente escolar, abrangendo desde a etapa de modelagem digital até a fabricação dos objetos por meio da tecnologia FDM, amplamente difundida em instituições educacionais devido à sua acessibilidade e simplicidade operacional. Essa tecnologia opera por meio da extrusão controlada de filamento termoplástico fundido, depositado camada por camada, o que permite a construção precisa de estruturas tridimensionais com propriedades geométricas definidas.

O material mais indicado para esse tipo de aplicação é o PLA, em virtude de sua facilidade de impressão, baixa contração térmica, odor discreto e origem biodegradável, características que o tornam especialmente apropriado para uso em ambientes escolares. Os parâmetros técnicos recomendados para a impressão incluem:

- **Temperatura do bico extrusor:** entre 200 °C e 220 °C, compatível com a maioria dos filamentos PLA;
- **Temperatura da mesa aquecida:** entre 50 °C e 65 °C, essencial para garantir a adesão da primeira camada e evitar deformações (*warping*).

**Velocidade de impressão:**

- **Perímetro:** 40–50 mm/s;

- Preenchimento: **60–80 mm/s**;
- Movimentação livre (*travel*): **100–150 mm/s**;
- Observa-se que velocidades inferiores tendem a favorecer a qualidade final da peça.

**Tempo estimado de impressão (altura de camada de 0,2 mm):**

- Sólidos de Platão (individual): **1 a 3 horas**;
- Pêndulo duplo (conjunto completo): **4 a 6 horas**.

Alternativamente, a tecnologia SLA, que utiliza resinas fotopolimerizáveis, pode ser empregada na produção de modelos que exigem elevada precisão dimensional e acabamento superficial refinado. No entanto, seu uso em ambientes escolares é menos recorrente, em razão do custo elevado e da complexidade técnica envolvida.

Do ponto de vista pedagógico, a impressão dos sólidos geométricos constitui um recurso didático de grande valor, ao possibilitar a exploração tátil e visual de propriedades matemáticas fundamentais, como a contagem de faces, arestas e vértices, a validação da relação de Euler, a análise de simetrias e o cálculo de áreas e volumes. A manipulação concreta desses objetos favorece a compreensão de conceitos abstratos, promovendo uma aprendizagem mais significativa, engajadora e cognitivamente acessível. A definição criteriosa dos parâmetros de impressão é, portanto, condição indispensável para assegurar a qualidade geométrica e mecânica dos modelos, garantindo sua efetividade como instrumento pedagógico.

### **3.4 Construção do Pêndulo Duplo**

A presente proposta pedagógica fundamenta-se na construção de sistemas oscilatórios compostos por pêndulos harmônicos, os quais configuram uma estratégia didática de caráter eminentemente prático, voltada à investigação e à compreensão de conceitos abstratos da Física, tais como o movimento harmônico simples (MHS), o período, a frequência e a amplitude das oscilações. A manipulação direta dos materiais experimentais, aliada à observação sistemática do comportamento oscilatório do sistema, atua como organizador prévio concreto, viabilizando a formação de representações cognitivas por meio do estabelecimento de analogias entre o movimento da estrutura serpentina e os princípios fundamentais que regem o MHS.

#### **1 Objetivos de Aprendizagem**

- Compreender, de forma conceitualmente precisa, os fundamentos do movimento harmônico simples e suas principais características.
- Identificar e correlacionar as variáveis que influenciam o MHS, com ênfase nos parâmetros físicos do sistema oscilatório.



- Observar experimentalmente a relação matemática entre o comprimento do fio e o período das oscilações.
- Desenvolver competências associadas à observação sistemática, manipulação instrumental e análise crítica de dados empíricos.
- Estabelecer conexões conceituais entre o movimento harmônico e manifestações físicas observáveis no cotidiano ou em aplicações tecnológicas relevantes.

## 2 Estratégias de Avaliação

- **Avaliação Formativa:** monitoramento contínuo da participação ativa dos alunos durante as etapas de montagem e experimentação, com aplicação de questionamentos diagnósticos voltados à verificação do grau de compreensão das variáveis e de sua influência sobre o comportamento do sistema oscilatório.
- **Avaliação Somativa:** elaboração de relatório técnico-experimental contemplando a descrição minuciosa do arranjo físico, os registros observacionais sistematizados, os dados coletados e as inferências analíticas quanto às relações funcionais entre as variáveis; complementação com resolução de problemas quantitativos envolvendo o cálculo do período de oscilação de um pêndulo simples.

### 3.5 Organizador prévio: pêndulo duplo em 3D

Para refletir antes do início da aula, imagine que você observa um pêndulo comum: um peso que oscila regularmente de um lado para o outro. Agora, pergunte-se: se adicionarmos um segundo braço e um segundo peso a esse pêndulo, o movimento permanecerá previsível?

Considere seu conhecimento atual sobre Física:

- O que faz um pêndulo simples oscilar?
- De que maneira as leis de Newton explicam esse movimento?
- Por que conseguimos prever com tanta precisão a posição de um pêndulo em determinados instantes?

É justamente aqui que reside o mistério que iremos explorar: sistemas aparentemente simples podem ocultar comportamentos surpreendentes. Ao conectarmos dois pêndulos, algo extraordinário acontece, o sistema torna-se caótico. Isso não significa que ele seja aleatório, mas sim tão sensível às condições iniciais que pequenas variações resultam em trajetórias completamente distintas.

Nosso ponto de partida será a revisão do conhecido. Revisitaremos o pêndulo simples, suas equações e sua previsibilidade. Esse será nosso terreno firme: o conhecimento já

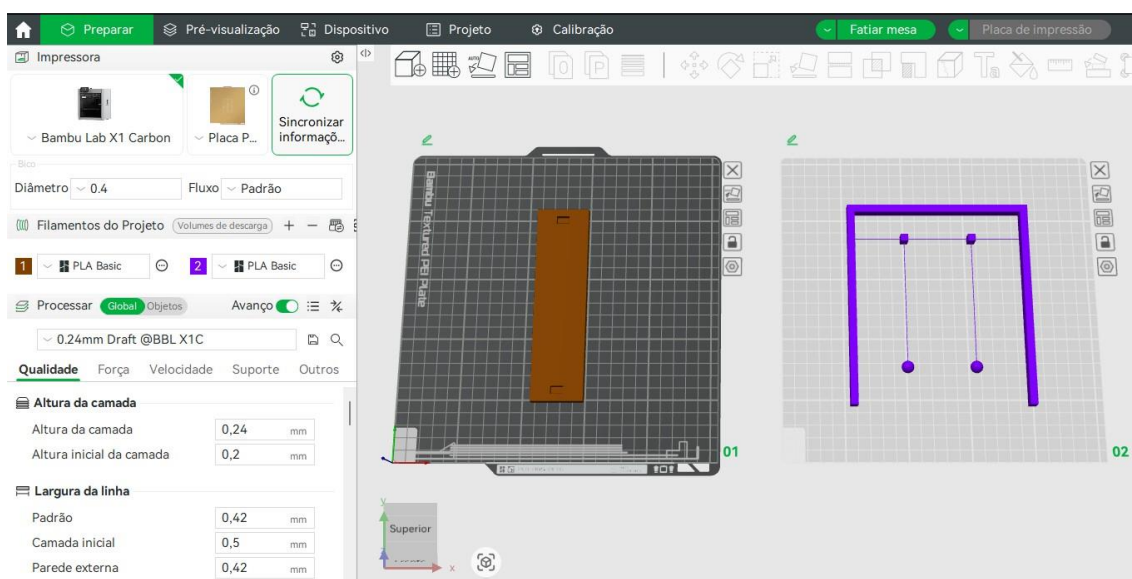
consolidado. A partir daí, acrescentaremos o segundo braço. Descobriremos, juntos, que “mais do mesmo” não implica “comportamento semelhante”. Um sistema formado por elementos que compreendemos plenamente pode gerar dinâmicas que desafiam nossa intuição.

A ponte teórica se estabelece quando transformamos esse conceito matemático abstrato em um objeto físico que pode ser manipulado, observado e experimentado. A impressão 3D será a ferramenta para essa transformação não como mera tecnologia atrativa, mas como recurso de investigação científica, uma extensão do laboratório. Projetaremos, simularemos e planejaremos a construção física do pêndulo duplo. Cada decisão de design, comprimento dos braços, massa dos pesos, tipo de articulação influenciará diretamente o comportamento caótico que observaremos.

É importante destacar que esta não será uma aula tradicional, na qual o estudante apenas recebe informações. Trata-se de uma investigação colaborativa: partiremos do conhecimento prévio, avançaremos pelo desconhecido utilizando a teoria como guia e chegaremos à materialização de um objeto físico que sintetiza conceitos de Física, Matemática e Tecnologia. O estudante não será apenas espectador do caos, mas arquiteto de um sistema caótico.

A Figura 7 representa uma aplicação tecnológica sofisticada orientada para a investigação de fenômenos físicos não lineares, especialmente aqueles que envolvem dinâmicas caóticas, como as observadas no comportamento do pêndulo duplo. Tal artefato didático, concebido por meio de técnicas de manufatura aditiva, apresenta elevado potencial para o aprofundamento conceitual em Mecânica, sobretudo em contextos educacionais voltados à experimentação e à análise de sistemas sensíveis às condições iniciais.

**Figura 7 - Imagem em 3D produzida no Bambu Studio.**



**Fonte:** BAMBULAB (2025).

O processo de impressão 3D inicia-se com a preparação do modelo digital em ambiente computacional, mediante o uso de software específico que permite a parametrização do projeto, incluindo o ajuste preciso do formato, da escala e das características mecânicas das peças móveis. Posteriormente, procede-se à verificação técnica da codificação do arquivo e da conformidade da espessura dos componentes, assegurando que estejam dentro dos padrões exigidos para a impressão em alta resolução. Uma vez validado o modelo, a produção é executada em etapas, respeitando o nível de detalhamento previamente estabelecido, o que pode demandar várias horas, dependendo da complexidade geométrica envolvida.

A Figura 8 apresenta um modelo 3D do pêndulo duplo, confeccionado por meio de impressão 3D, cuja aplicação didático-experimental se revela especialmente profícua para o estudo de movimentos não determinísticos e altamente sensíveis às condições iniciais características próprias dos sistemas caóticos. A concretude desse objeto palpável propicia uma mediação pedagógica eficiente, ao permitir que os alunos visualizem e manipulem diretamente os fenômenos físicos abordados, favorecendo uma aprendizagem experiencial que transcende as limitações da exposição tradicional em sala de aula.

**Figura 8** - Imagem impressa em 3D de um Pêndulo Simples



**Fonte:** MakerWorld (2025).

Esse dispositivo experimental promove uma diferenciação progressiva na apreensão conceitual, ao tornar perceptíveis nuances do movimento oscilatório e suas variações em tempo real. Simultaneamente, viabiliza uma reconciliação integradora entre a atividade prática e as leis físicas subjacentes, tais como a conservação da energia, a não linearidade e os princípios da mecânica clássica, criando, assim, um elo epistemológico entre teoria e prática. Longe de constituir um mero artefato de curiosidade, o pêndulo duplo impresso configura-se como uma ferramenta pedagógica robusta, que contribui decisivamente para o fortalecimento da compreensão crítica e conceitual dos conteúdos científicos, promovendo o envolvimento ativo dos alunos na construção do conhecimento.

Finalizada a etapa de manufatura, realiza-se a montagem estrutural do dispositivo por meio da inserção de eixos, articulações ou elementos de fixação, como parafusos, que conferem mobilidade adequada ao sistema. Essa fase é crucial para garantir a funcionalidade do experimento, permitindo que o comportamento oscilatório do pêndulo duplo seja observado e analisado em sua plenitude. Tal observação contribui para o estudo empírico da transição entre regularidade e caos no âmbito das interações físicas dinâmicas, enriquecendo a compreensão dos fenômenos que caracterizam sistemas sensíveis às condições iniciais.

### **3.6 Parâmetros gerais de modelagem e preparação dos sólidos de Platão**

A construção dos sólidos geométricos de Platão, integrada ao ambiente digital GeoGebra, constitui uma abordagem metodológica inovadora para o ensino da geometria espacial, ao articular modelagem paramétrica com processos de fabricação física por meio da impressão 3D. Essa proposta pedagógica contempla tanto a elaboração digital dos modelos quanto sua materialização por tecnologias de impressão 3D, como FDM e SLA, transpondo a visualização bidimensional tradicional para uma experiência concreta e manipulável. Tal recurso didático tangível favorece a compreensão das propriedades geométricas envolvidas, promovendo maior intencionalidade no processo de ensino e ampliando o engajamento dos alunos por meio de práticas ativas de criação e aprendizagem.

Os sólidos platônicos tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro representam corpos fundamentais da geometria euclidiana, caracterizados por serem poliedros regulares convexos, cujas faces são congruentes, as arestas possuem igual comprimento e os vértices apresentam o mesmo número de arestas convergentes. Sua relevância transcende os limites da matemática pura, estendendo-se a campos como a química, na estrutura de cristais; as artes visuais; e até mesmo a filosofia, onde são associados a concepções cosmológicas e simbólicas. No contexto educacional, esses sólidos constituem instrumentos valiosos para a exploração de conceitos como simetria, dualidade, topologia, cálculo de área superficial e volume.

Entretanto, a representação tradicional desses objetos em livros didáticos, geralmente restrita a projeções bidimensionais, impõe limitações à plena compreensão de sua natureza espacial, dificultando a internalização dos conceitos por parte dos alunos. A metodologia aqui proposta busca superar tais restrições por meio da integração de ferramentas digitais de modelagem e de tecnologias de fabricação aditiva, permitindo a concretização de conceitos abstratos em objetos físicos manipuláveis. Essa transposição da abstração para a tangibilidade contribui significativamente para o desenvolvimento de uma aprendizagem mais significativa, visualmente estimulante e cognitivamente acessível.

### 3.7 Construção dos sólidos de Platão no GeoGebra

A construção de sólidos geométricos no ambiente 3D do software GeoGebra constitui uma estratégia didática eficaz para o ensino da geometria espacial. A interface intuitiva e robusta da plataforma permite a elaboração precisa de poliedros por meio da combinação de ferramentas gráficas com recursos algébricos avançados. O processo de modelagem inicia-se com a definição de um ponto de origem no espaço, cujas coordenadas servem de referência para a construção dos elementos primitivos, como vértices, arestas e faces. Uma abordagem recomendada consiste na utilização da régua digital ou da caixa de entrada de comandos, possibilitando a inserção exata das coordenadas dos vértices.

Para a construção dos sólidos de Platão, o GeoGebra oferece comandos específicos que facilitam a modelagem. Por exemplo, o poliedro tetraédrico pode ser gerado por meio do comando `tetraedro` (`<ponto>`, `<ponto>`, `<ponto>`), enquanto sólidos mais complexos, como o dodecaedro e o icosaedro, podem ser construídos com os comandos `dodecaedros` (`<ponto>`, `<ponto>`) e `icosaedro` (`<ponto>`, `<ponto>`), respectivamente. Esses comandos criam os sólidos a partir de dois pontos que definem uma aresta e sua posição no espaço tridimensional.

Uma das principais vantagens pedagógicas do GeoGebra reside na possibilidade de parametrização dos modelos. A interdependência dinâmica entre a janela gráfica e a algébrica permite que variáveis, como o comprimento das arestas, sejam ajustadas por meio de seletores (por exemplo, a variável “a”), de modo que os vértices sejam definidos como funções desse parâmetro. Assim, qualquer alteração no seletor redefine automaticamente o sólido, preservando suas proporções geométricas. Após a modelagem, o objeto pode ser exportado no formato STL, padrão para impressoras 3D, garantindo que o sólido seja reconhecido como uma estrutura única e pronta para fabricação.

Do ponto de vista pedagógico, os modelos físicos impressos a partir do GeoGebra transformam-se em artefatos didáticos valiosos, permitindo uma exploração tátil e visual dos conceitos geométricos. Os alunos podem manusear os sólidos, contar faces, arestas e vértices, e validar concretamente a relação de Euler. Além disso, é possível demonstrar a dualidade entre figuras geométricas, evidenciando como o centro de cada face de um poliedro define o vértice de seu dual. A manipulação dos modelos também favorece o cálculo de áreas e volumes, promovendo uma compreensão mais profunda das formas abstratas por meio da medição real e da comparação entre estruturas.

A inserção da tecnologia de impressão 3D, conforme destacada por materiais didáticos contemporâneos, potencializa de forma significativa essa experiência educativa, oferecendo aos alunos a possibilidade de explorar objetos geométricos tangíveis configurados com riqueza de

detalhes. Tal prática contribui para a construção de um conhecimento matemático mais robusto, intuitivo e contextualizado.

Objetivos de Aprendizagem:

- Reconhecer, nomear e classificar os sólidos geométricos usuais: cubo, paralelepípedo, pirâmide, cone, cilindro e esfera;
- Compreender e identificar as propriedades geométricas inerentes a cada sólido, incluindo a quantidade de faces, vértices e arestas;
- Calcular o volume e a área de superfície dos sólidos regulares com precisão;
- Desenvolver habilidades espaciais e competências relacionadas à expressão gráfica e à representação 3D.

Aplicar os conhecimentos adquiridos na resolução de problemas matemáticos contextualizados e em situações reais.

Estratégias de Avaliação

Formativa: acompanhamento do desempenho dos alunos na representação gráfica dos sólidos e na identificação correta de suas propriedades geométricas; realização de discussões coletivas voltadas à caracterização dos elementos estruturais das figuras tridimensionais.

Somativa: apresentação dos modelos físicos construídos ou das imagens digitais elaboradas pelos alunos, acompanhadas de justificativas fundamentadas sobre suas propriedades e cálculos realizados; resolução de problemas práticos que demandem aplicação dos conceitos de geometria espacial em contextos diversos, como arquitetura, engenharia ou design.

### 3.8 Organizador Prévio: Sólidos de Platão em 3D

Podemos começar com uma pergunta provocadora: por que existem apenas cinco formas tridimensionais perfeitamente simétricas? Não quatro, não seis, não dez, mas exatamente cinco. Imagine que você precise construir estruturas utilizando apenas triângulos equiláteros, quadrados ou pentágonos regulares, sempre com a mesma configuração em cada vértice. Surpreendentemente, apenas cinco sólidos podem ser formados nessas condições: os **sólidos platônicos**.

- Antes de avançarmos, considere o que você já sabe sobre geometria:
- O que define um polígono regular?
- Como formas bidimensionais se conectam para gerar objetos tridimensionais?
- Por que um cubo possui seis faces, doze arestas e oito vértices?

É nesse ponto que a maravilha matemática se revela. Há mais de 2.300 anos, Platão associou esses cinco sólidos aos elementos fundamentais do universo. Hoje, sabemos que eles aparecem em contextos surpreendentes desde moléculas de fulereno, na nanotecnologia, até a estrutura de vírus e padrões de organização do cosmos.

Nossa revisão do conhecimento começará pelo que já dominamos: polígonos regulares, ângulos, vértices e arestas. Inicialmente, trabalharemos com papel e tesoura, construindo essas formas em duas dimensões. Esse será nosso alicerce geométrico, o ponto seguro de partida. Ao dobrarmos e conectarmos esses polígonos no espaço, algo notável acontece: **as regras mudam e as possibilidades se reduzem drasticamente**. Assim, descobriremos juntos a prova visual e matemática de por que existem apenas cinco sólidos perfeitos.

A ponte entre teoria e realidade física se estabelece quando transformamos conceitos abstratos em objetos tangíveis. A **impressão 3D** será nossa ferramenta para essa transformação não como mera curiosidade tecnológica, mas como instrumento de investigação científica, uma forma de literalmente **“ver com as mãos”** a verdade matemática.

Cada sólido platônico nos revelará uma história distinta:

- **Tetraedro** (4 faces triangulares): a estrutura mais simples e estável.
- **Cubo** (6 faces quadradas): a forma que preenche perfeitamente o espaço.
- **Octaedro** (8 faces triangulares): o dual do cubo.
- **Dodecaedro** (12 faces pentagonais): o sólido que intrigou Platão
- **Icosaedro** (20 faces triangulares): a estrutura presente em diversos vírus.

É importante destacar que esta não será uma aula voltada à memorização de propriedades. Será uma expedição matemática: começaremos com recortes de papel, avançaremos por demonstrações visuais intuitivas e chegaremos à construção de objetos físicos impressos, que poderão ser analisados, medidos e comparados. Você não apenas estudará os sólidos platônicos você os criará, tanto manualmente quanto por meio da tecnologia.

Cada etapa representará uma descoberta: da simplicidade do triângulo equilátero à complexidade do dodecaedro, você compreenderá as restrições e liberdades da geometria tridimensional. A **fórmula de Euler** ( $V - A + F = 2$ ) deixará de ser uma abstração e se tornará uma verdade concreta, verificável em seus próprios modelos.

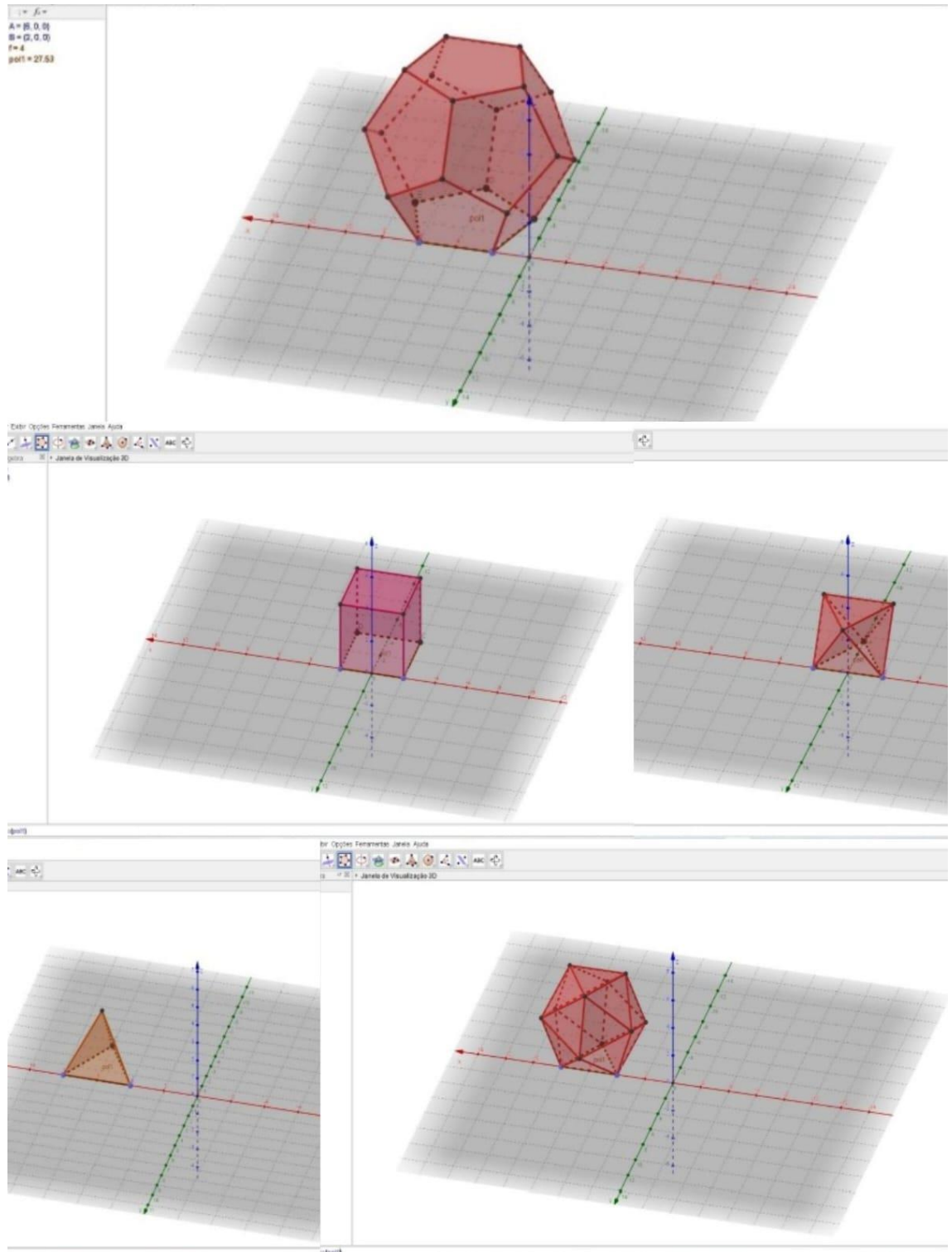
Ao final, você não apenas saberá que existem cinco sólidos platônicos compreenderá profundamente por que só podem existir cinco, tendo em mãos a prova física dessa verdade matemática.



A compreensão da geometria espacial pode transcender os métodos convencionais, tradicionalmente mediados por lápis, papel e representações planas, quando se emprega a tecnologia da impressão 3D como recurso didático. Ao tornar tangíveis os sólidos estudados nos livros especialmente os denominados sólidos platônicos, como tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro a experiência de aprendizagem adquire uma dimensão sensorial ampliada. Tal experiência revela-se ainda mais eficaz quando se inicia com a proposição de organizadores prévios adequadamente estruturados. Antes mesmo do início da impressão, é possível promover a ativação dos saberes anteriores, permitindo que o aluno estabeleça conexões cognitivas significativas. Com isso, cada aresta materializada adquire sentido ampliado, não apenas como parte de uma figura geométrica, mas como elemento revelador do elo entre o conhecimento abstrato e a tecnologia aplicada.

Na Figura 9, observa-se um exemplo elucidativo de modelagem aplicada aos sólidos platônicos, cuja geometria já foi previamente desenvolvida e encontra-se pronta para a etapa de impressão 3D. Tal preparação contempla não apenas a definição formal dos modelos, mas também a possibilidade de ajustes técnicos e estéticos, como a variação de cores e a configuração da espessura de cada camada impressa.

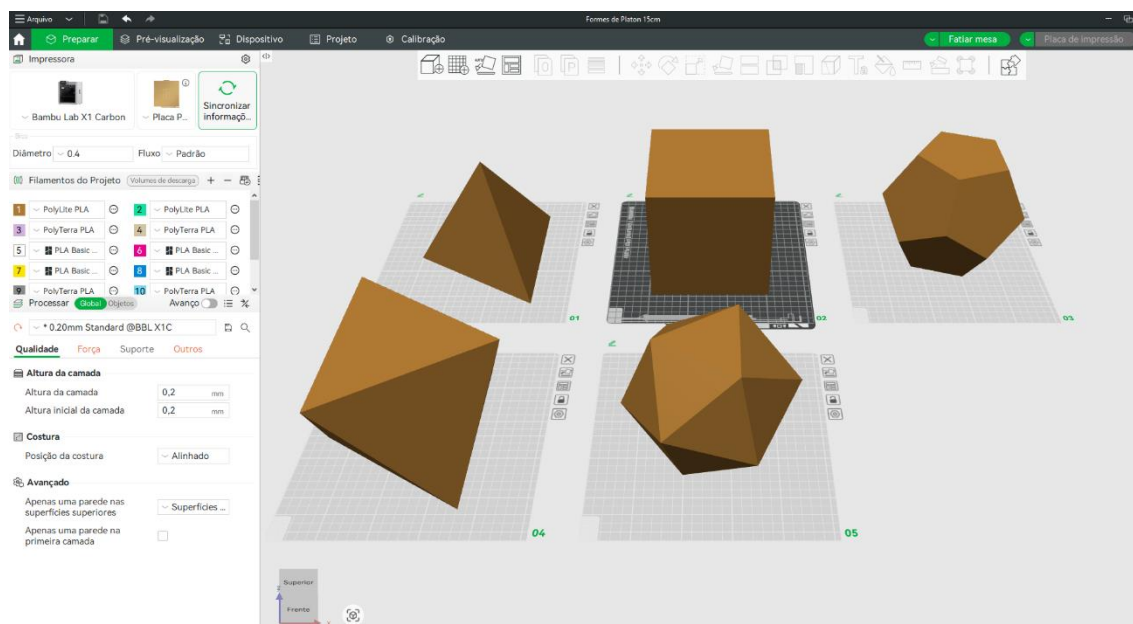
**Figura 9** - Imagem em 3D produzida no Bambu Studio.



**Fonte:** GeoGebra (2025).

Após a elaboração do sólido de Platão no GeoGebra, os modelos podem ser exportados e encaminhados ao BS para o início do processo de fatiamento. Nesse ambiente, possibilita-se realizar uma análise direta na interface do software, considerando, parâmetros que influenciam a qualidade e a resistência do objeto final, tais como a altura das camadas, a densidade de preenchimento, o tipo de alinhamento das trajetórias e o processo específico de fabricação a ser empregado. A Figura 10, nesse sentido, exemplifica de forma integrada os elementos envolvidos na materialização dos sólidos, articulando conceitos geométricos abstratos à concretude tecnológica.

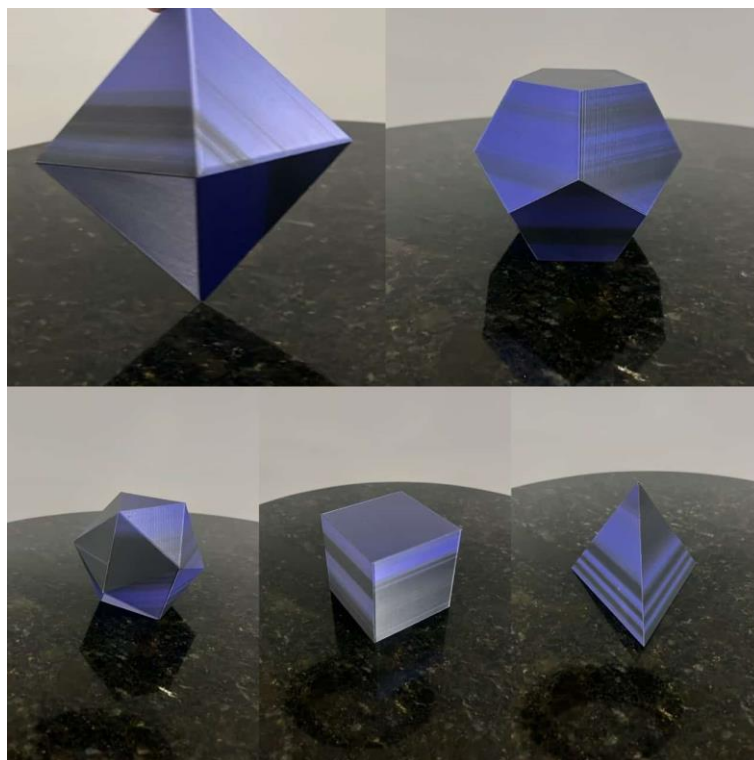
**Figura 10** - Imagem em 3D produzida no Bambu Studio.



**Fonte:** BAMBULAB (2025).

A Figura 11, cuja impressão 3D se encontra concluída, ilustra de forma integrada os elementos constitutivos da construção material dos sólidos geométricos, promovendo a articulação entre os conceitos abstratos da geometria e a concretude técnica proporcionada pela manufatura digital. Essa representação evidencia a potencialidade da tecnologia de impressão 3D como mediadora entre o saber teórico e sua materialização física, favorecendo a compreensão espacial e estrutural dos objetos estudados no contexto educacional.

**Figura 11** - Imagem impressa em 3D dos Sólidos de Platão.



**Fonte:** Autor (2025).

Durante o processo de fabricação aditiva, torna-se essencial implementar estratégias de monitoramento contínuo, tanto por meio de softwares dedicados quanto por observação direta, a fim de detectar precocemente eventuais falhas, como o deslocamento da peça na mesa de impressão ou o entupimento da extrusora. Uma vez concluída a etapa de impressão, inicia-se o pós-processamento, que inclui ações como a remoção dos suportes, o lixamento das superfícies e a aplicação de acabamentos. Esse momento revela-se oportuno para incentivar os alunos à análise comparativa entre o modelo idealizado e o artefato físico produzido, promovendo reflexões sobre discrepâncias visuais, como bordas suavizadas ou imperfeições decorrentes da resolução da impressão. Recursos complementares, como vídeos didáticos disponíveis em plataformas digitais a exemplo do YouTube podem ser sugeridos para demonstrar técnicas de acabamento, incluindo o uso de acetona vaporizada para peças impressas em ABS.

Para aprofundar a compreensão dos alunos acerca das etapas envolvidas na modelagem e na fabricação digital, propõe-se a elaboração de um portfólio digital contendo registros visuais das peças produzidas, juntamente com os respectivos arquivos desenvolvidos no ambiente do BS. Tal atividade possibilita evidenciar ajustes aplicados, bem como promover a análise crítica das configurações empregadas. Além disso, recomenda-se o uso de plataformas educacionais

acessíveis, como o Tinkercad, para incentivar a modelagem complementar e explorar variações geométricas dos sólidos trabalhados. Essa abordagem fortalece a articulação entre teoria e prática, favorecendo a contextualização do conceito de prototipagem rápida no ensino de geometria.

O processo de impressão 3D envolve diversas etapas técnicas imprescindíveis, que devem ser cuidadosamente planejadas em consonância com os objetivos didáticos pretendidos. Tais etapas incluem a seleção criteriosa do material termoplástico mais adequado (como o PLA), a definição precisa da escala e da resolução do modelo considerando aspectos como legibilidade, nível de detalhamento e propósito instrucional além da correta configuração da impressora. A execução da impressão por deposição sucessiva de camadas culmina na obtenção de objetos físicos com qualidade estrutural e fidelidade geométrica, que se apresentam como ferramentas cognitivas eficazes para a construção de saberes científicos.

A perspectiva teórica da aprendizagem significativa, concebida por Ausubel, encontra na tecnologia de impressão 3D um aliado profícuo para o aprofundamento conceitual e a articulação integradora de saberes. Tal associação favorece simultaneamente o processo de diferenciação progressiva, que permite o refinamento e o detalhamento das estruturas conceituais e a reconciliação integradora, por meio da qual se estabelece a ponte cognitiva entre os conhecimentos pré-existentes e os novos conteúdos assimilados. A materialização de conceitos por meio de modelos físicos em 3D configura-se, assim, como uma estratégia pedagógica que potencializa o engajamento ativo e o desenvolvimento significativo do aluno.

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Os resultados e as discussões desta investigação apontam para uma ampliação pedagógica significativa no que se refere à integração da impressão 3D como organizador prévio no ensino de Ciências. Embora os achados revelem um potencial promissor, é importante destacar que, por se tratar de uma pesquisa de natureza exploratória, os dados obtidos representam um estágio inicial de desenvolvimento, ainda não consolidado em aplicações empíricas controladas. A análise crítica e contextualizada dos resultados reforça a relevância da metodologia proposta, que se fundamenta na utilização de modelos tridimensionais posteriormente impressos como elementos mediadores na construção do conhecimento científico. Tal abordagem, até o momento, não foi plenamente desenvolvida nem aplicada em contextos experimentais rigorosos, o que limita a possibilidade de estabelecer relações causais robustas ou generalizações para cenários educacionais mais amplos.

Nesse sentido, as conclusões aqui apresentadas devem ser compreendidas sob a ótica de seu potencial teórico e caráter preliminar, não podendo ser interpretadas como validações definitivas de sua eficácia pedagógica. A ausência de um grupo de controle devidamente estruturado reforça essa limitação, indicando que os resultados obtidos devem servir, sobretudo, como ponto de partida para investigações futuras. Tais estudos poderão delinear caminhos metodológicos mais consistentes, capazes de consolidar a integração da impressão 3D ao currículo escolar de forma sistemática e eficaz.

A revisão teórica empreendida neste trabalho sugere que a impressão 3D possui considerável potencial para enriquecer as práticas pedagógicas no ensino de Ciências, especialmente por sua capacidade de materializar conceitos abstratos por meio de modelos táteis e visuais. Essa materialização pode atuar como recurso de mediação cognitiva, facilitando a compreensão e a retenção de informações complexas. A interação dos alunos com objetos em 3D, em contraste com representações bidimensionais estáticas, tende a promover uma aprendizagem mais engajadora e significativa, estimulando a curiosidade e a exploração ativa.

Contudo, é imperativo ressaltar que a confirmação plena desse potencial pedagógico depende de sua aplicação em contextos reais de ensino e aprendizagem. A transposição da concepção teórica para a prática educacional exige validação empírica, por meio de estudos sistemáticos que investiguem o impacto da impressão 3D no desempenho dos alunos, no desenvolvimento de habilidades cognitivas e na motivação para aprender. A análise de dados qualitativos provenientes de intervenções pedagógicas controladas será crucial para fundamentar inferências sólidas e delinear diretrizes eficazes para a integração dessa tecnologia ao currículo escolar.

Embora esta pesquisa aponte possibilidades inovadoras no campo da didática aplicada ao ensino de Ciências, especialmente no que se refere à utilização da impressão 3D como ferramenta de apoio à aprendizagem, é imprescindível que as inferências sejam formuladas com a devida cautela. A natureza exploratória do estudo, aliada à ausência de aplicação empírica em larga escala, limita a possibilidade de generalizações fundamentadas. A transposição de um potencial teórico para uma prática pedagógica eficaz exige rigor metodológico capaz de validar as hipóteses levantadas. Assim, qualquer conclusão acerca da efetividade da impressão 3D como recurso didático deve ser compreendida como preliminar, pertencente a um campo cujos benefícios ainda demandam confirmação por meio de investigações futuras. Por mais promissora que seja a inovação proposta, ela não substitui a necessidade de evidências empíricas robustas que sustentem sua incorporação às práticas educacionais.

No que tange à articulação teórica, a proposta de utilização da impressão 3D como organizador prévio encontra ressonância significativa nas contribuições de Ausubel (2003) e Moreira (2011), no âmbito da teoria da aprendizagem significativa. Ao introduzir conceitos por meio de materiais introdutórios previamente à abordagem do conteúdo formal, busca-se estabelecer uma ponte cognitiva entre os conhecimentos prévios do aluno e os novos saberes a serem assimilados. Nesse contexto, um modelo impresso em 3D, especialmente quando dotado de estrutura complexa, pode atuar como organizador prévio eficaz, oferecendo uma representação concreta e manipulável que ativa os esquemas cognitivos existentes e facilita a ancoragem de novas informações. A tangibilidade e a tridimensionalidade desses modelos promovem uma interação que transcende a abstração típica dos diagramas bidimensionais, tornando o novo conhecimento mais acessível, significativo e passível de retenção.

Moreira (2011) aprofunda a discussão sobre a aprendizagem significativa ao destacar a importância da interação entre o novo conhecimento e a estrutura cognitiva preexistente do aluno. Nesse contexto, a impressão 3D apresenta-se como um recurso didático de elevado potencial, ao oferecer representações visuais concretas que podem ser exploradas e manipuladas, favorecendo uma aprendizagem mais ativa, personalizada e significativa. Os modelos em 3D, longe de constituírem meros objetos ilustrativos, assumem o papel de mediadores cognitivos capazes de facilitar a construção de significados profundos por parte dos alunos. A materialização de conceitos por meio da impressão 3D contribui para a formação de subsunçores e para a integração hierárquica de ideias, conforme os princípios da teoria ausubeliana, promovendo uma ancoragem mais eficaz dos novos conteúdos à estrutura cognitiva do aprendiz. Essa conexão teórica reforça o potencial da impressão 3D como

ferramenta didática transformadora, apta a modificar substancialmente como os conceitos científicos são apresentados, compreendidos e internalizados.

Diante disso, as perspectivas de continuidade desta abordagem delineiam uma linha de pesquisa ampla e promissora, sugerindo que futuras investigações se dediquem ao desenvolvimento e à aplicação sistemática do modelo de organizador prévio impresso em 3D em ambientes educacionais controlados. Tal esforço incluiria a elaboração de currículos ou sequências didáticas que incorporem, de maneira estruturada, o uso desses modelos, bem como a realização de estudos experimentais com grupos de controle. A coleta de dados quantitativos e qualitativos por meio de entrevistas, questionários e observações em sala de aula será fundamental para validar e refinar as inferências levantadas nesta pesquisa. Ademais, investigações futuras poderão explorar a percepção de professores e alunos quanto à eficácia e à usabilidade dos modelos tridimensionais, além de examinar o impacto da personalização desses recursos sobre o engajamento dos alunos. A validação empírica do potencial da impressão 3D como organizador prévio constitui, portanto, um passo crucial para a consolidação dessa abordagem inovadora, contribuindo para o embasamento de políticas educacionais voltadas à integração de tecnologias emergentes nos processos de ensino e aprendizagem.



## 5 CONCLUSÕES FINAIS

A presente pesquisa dedicou-se à investigação do potencial da impressão 3D como organizador prévio no ensino de Ciências, abordando um problema centrado na busca por metodologias inovadoras capazes de promover aprendizagens significativas em torno de conceitos complexos. O objetivo central consistiu em explorar como a materialização de abstrações, por meio de modelos tridimensionais, pode atuar como ponte cognitiva, facilitando tanto a assimilação de novos conhecimentos quanto a reestruturação de esquemas mentais preexistentes. A proposta fundamenta-se na concepção de que a impressão 3D transcende sua função meramente ilustrativa, configurando-se como recurso didático com potencial para mediar a interação entre o sujeito e o objeto do conhecimento, em consonância com teorias da aprendizagem que valorizam a concretude e a participação ativa no processo educativo.

Os resultados obtidos, embora preliminares, revelam contribuições significativas para a literatura educacional, especialmente no que se refere à interface entre tecnologia e didática. Um dos achados mais relevantes foi a constatação da ausência de estudos que abordem, de forma específica, o uso da impressão 3D como organizador prévio, o que confere originalidade à presente investigação e a posiciona como pioneira nesse campo. A análise teórica, aliada às observações iniciais, indica que a impressão 3D possui a capacidade de converter conceitos abstratos em representações visuais e manipuláveis, oferecendo um caminho promissor para a superação de dificuldades inerentes à compreensão de fenômenos científicos complexos. A materialização de conteúdos estruturados por meio de modelos físicos permite uma interação multissensorial que potencializa a construção de significados, tornando o processo de aprendizagem mais concreto, acessível e engajador.

Em síntese, esta pesquisa aponta a relevância da proposta e a necessidade de aprofundamento por meio de investigações futuras, que possam validar empiricamente os pressupostos teóricos aqui apresentados e contribuir para o delineamento de práticas pedagógicas mais eficazes e tecnologicamente integradas.

É imprescindível reconhecer as limitações inerentes ao presente estudo, cuja natureza exploratória, embora inovadora, não permitiu o desenvolvimento ou a aplicação integral de todos os aspectos relacionados à utilização da impressão 3D como organizador prévio no ensino de Ciências. A principal limitação reside na ausência de validação empírica em larga escala, especialmente no que se refere à implementação da metodologia em ambientes escolares reais e à comparação sistemática entre grupos de controle e experimentais. Em decorrência disso, algumas inferências e potenciais benefícios discutidos ao longo da pesquisa permanecem condicionados à realização de estudos futuros que possam confirmar e generalizar os achados

preliminares. A complexidade envolvida na integração de tecnologias emergentes ao contexto pedagógico, somada à necessidade de um período de maturação para a observação de efeitos significativos, impõe restrições metodológicas que foram devidamente consideradas na análise dos resultados. Tais limitações, longe de comprometerem a relevância do trabalho, delimitam as fronteiras do conhecimento atualmente alcançado e indicam a necessidade de continuidade investigativa.

As contribuições desta pesquisa para o campo educacional e para a inovação pedagógica são multifacetadas. Em termos teóricos, o estudo amplia a compreensão do conceito de organizadores prévios conforme proposto por Ausubel, ao introduzir uma nova dimensão de concretude e interatividade por meio da impressão 3D. Nesse sentido, oferece um arcabouço conceitual que favorece a integração de recursos tecnológicos avançados ao processo de construção do conhecimento. No plano prático, propõe um modelo conceitual que pode servir como ponto de partida para educadores e pesquisadores interessados em explorar o potencial da impressão 3D como ferramenta didática. A possibilidade de materializar conceitos abstratos por meio de modelos físicos tem o potencial de transformar como disciplinas científicas são ensinadas, tornando-as mais acessíveis, engajadoras e significativas para os alunos.

A inovação pedagógica aqui proposta transcende o uso meramente instrumental da tecnologia, ao concebê-la como agente ativo na mediação da aprendizagem. Tal abordagem apresenta potencial para impactar positivamente o desenvolvimento de habilidades cognitivas e a motivação dos alunos, desde que validada por meio de investigações empíricas rigorosas. Assim, este estudo não apenas inaugura uma perspectiva teórico-metodológica, como também sinaliza caminhos promissores para a consolidação de práticas educacionais mais eficazes e tecnologicamente integradas.

As perspectivas de continuidade desta linha de pesquisa revelam-se amplas e desafiadoras, exigindo aprofundamento teórico e validação empírica em contextos educacionais diversos. Estudos futuros poderão concentrar-se na implementação de intervenções pedagógicas sistematizadas, envolvendo amostras representativas de alunos e professores, com vistas à consolidação dos achados preliminares e à generalização dos resultados. A criação de um repositório de modelos tridimensionais voltados ao uso educacional, acompanhados de diretrizes pedagógicas para sua aplicação, configura-se como um desdobramento prático de grande relevância, capaz de subsidiar professores e pesquisadores interessados na integração efetiva dessa tecnologia ao currículo escolar.

Do ponto de vista acadêmico, a presente investigação pode ser expandida por meio de estudos que examinem o impacto da impressão 3D na formação de conceitos específicos, na

resolução de problemas complexos e no desenvolvimento do pensamento crítico. Ademais, a aplicabilidade da impressão 3D como recurso didático não se limita às áreas de Ciências da Natureza e Matemática. Sua potencialidade pedagógica pode ser estendida a outros campos do saber, como as Linguagens e as Ciências Humanas, nos quais também se delineia um cenário promissor para a implementação de práticas inovadoras no âmbito da educação. Em síntese, esta pesquisa reafirma o potencial da impressão 3D como organizador prévio, não apenas como contribuição teórica para o campo educacional, mas como pavimentação de um caminho promissor para futuras investigações e práticas pedagógicas voltadas à promoção de aprendizagens mais significativas e ao engajamento dos alunos.

## 6 REFERENCIAS

- ARAGÃO, R. M. R. **Teoria da aprendizagem significativa de David P. Ausubel: sistematização dos aspectos teóricos fundamentais**. 1976. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1976.
- AUSUBEL, D. P. **Educational psychology: a cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, D. P. **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- AUSUBEL, D. P. **Theory and problems of adolescent development**. 3. ed. New York: iUniverse, 2002.
- BAMBULAB. **Bambu Studio – slicing software open source**. Disponível em: <https://bambulab.com/en-us/download/studio>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018.
- CARVALHO, A. B. et al. Integração da impressão 3D e STEAM na educação: uma abordagem baseada na aprendizagem significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências**, v. 12, n. 3, p. 45-60, 2023.
- CARVALHO, R. S. et al. A metodologia STEAM e a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel como proposta para o ensino de ciências. **Revista Thema**, v. 22, n. 2, p. 324-339, 2023.
- CHEMBILLI, S.; MONDISA, J. Spatial visualization skills in engineering education: a review of challenges and enhancements. **Journal of Engineering Education**, v. 111, n. 2, p. 45-67, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/jee.20432>.
- CHRISTENSEN, R.; KNEZEK, G. Contrasts in student perceptions of STEM content and careers. In: MCBRIDE, R.; SEARSON, M. (org.). **Society for Information Technology & Teacher Education International Conference**. New Orleans, LA: AACE, 2013. p. 48602-48609.
- CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- DUBOIS, P. **Tecnologias educacionais e redução de custos: o caso da impressão 3D**. Paris: Ministério da Educação da França, 2023.
- FARIAS, G. B. de. Contributos da aprendizagem significativa de David Ausubel para o desenvolvimento da competência em informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 27, n. 2, p. 58-76, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pci/a/ZSNC6yjPGkG6t5kTQHC3Wxp/>. Acesso em: 21 set. 2025.

FARIAS, I. M. S. **Planejamento de ensino e avaliação da aprendizagem na perspectiva da teoria da aprendizagem significativa**. 2. ed. Curitiba: Appris, 2022.

FORD, S.; MINSHALL, T. Where and how 3D printing is used in teaching and education. **Additive Manufacturing**, v. 25, p. 131-150, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>.

GARCIA, L. M.; MARTINS, R. S. **Impressão 3D de baixo custo em escolas públicas: desafios e soluções**. São Paulo: Edusp, 2022.

GARCIA, L.; MARTINS, P. Custo-benefício de impressoras 3D de baixo custo para aplicação educacional. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NA EDUCAÇÃO, 2022. **Anais [...]**. 2022.

GEOGEBRA. **GeoGebra – matemática dinâmica para todos**. Disponível em: <https://www.geogebra.org/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GRABCAD. **GrabCAD Library**. Disponível em: <https://grabcad.com/library>. Acesso em: 23 jan. 2025.

HAVICE, W. STEM/STEAM education: strategies for integrating arts and sciences. **Journal of Technology Education**, v. 20, n. 2, p. 34-48, 2009.

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Como a impressão 3D facilita a nossa vida**. IFSC Verifica, [s.d.]. Disponível em: [https://www.ifsc.edu.br/post-ifsc-verifica/-/asset\\_publisher/uII70Nv266Xk/content/id/13259109/como-a-impress%C3%A3o-3d-facilita-a-nossa-vida](https://www.ifsc.edu.br/post-ifsc-verifica/-/asset_publisher/uII70Nv266Xk/content/id/13259109/como-a-impress%C3%A3o-3d-facilita-a-nossa-vida). Acesso em: 14 jul. 2025.

KANEMATSU, H.; BATEU, T. Project-based learning and 3D printing in STEM education. **International Journal of Engineering Education**, v. 32, n. 4, p. 1542-1550, 2016.

KARPICKE, J. D.; BLUNT, J. R. Retrieval practice produces more learning than elaborative studying. **Science**, v. 331, n. 6018, p. 772-775, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1199327>.

KNEZEK, G. et al. Impact of environmental power monitoring activities on middle school student perceptions of STEM. **Science Education International**, v. 24, n. 1, p. 98-123, 2013. Disponível em: <http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1015828.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2025.

KNILL, O.; SLAVKOVSKY, E. **3D printing in mathematics education: concepts and applications**. Cambridge: Harvard University Press, 2013.

LACEY, S. et al. The impact of 3D printed models on medical student learning: a systematic review. **Medical Education**, v. 55, n. 3, p. 310-322, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/medu.14385>.

LEDO, A. C. O.; SILVA, F. H. S. A impressão 3D como ferramenta para o ensino de biologia na perspectiva da aprendizagem significativa. **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio**, v. 14, n. 1, p. 112-131, 2021.

LEDO, M. C.; SILVA, R. P. Aprendizagem significativa e STEAM: um estudo de caso em escolas brasileiras. **Educação & Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 78-95, 2021.

LEE, S.; CHEN, Y. Shared resources and open repositories for 3D printing in education. **Journal of Educational Technology**, v. 18, n. 3, p. 112-125, 2023.

LIPSON, H. **Fabricated: the new world of 3D printing**. Indianapolis: Wiley, 2007.

LUCK, H. **Pedagogia interdisciplinar: fundamentos teórico-metodológicos**. Petrópolis: Vozes, 2001.

MAKERWORLD. **MakerWorld: download free 3D models**. Disponível em: <https://makerworld.com/pt>. Acesso em: 23 jul. 2025.

MASINI, E. F. S.; MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos**. São Paulo: Vetor, 2008.

MAYER, R. E. **Cognitive theory of multimedia learning**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

MEANS, B. et al. Expanding STEM opportunities through inclusive STEM-focused high schools. **Science Education**, v. 101, p. 681-715, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.21281>.

MEDEIROS, A. L. **Interdisciplinaridade no ensino de ciências: desafios e perspectivas**. São Paulo: Cortez, 2003.

MOREIRA, M. A. **La teoría del aprendizaje significativo crítico: un referente para organizar la enseñanza contemporánea**. Revista Unión, n. 31, p. 1-16, 2012. Disponível em: <https://funes.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/tainacan-items/32454/1159095/Moreira2012La.pdf>. Acesso em: 21 set. 2025.

MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educação Científica**, v. 10, n. 1, p. 30-45, 2011.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2001.

MORIN, E. **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

NASCIMENTO, J. P. **Metodologias ativas e a abordagem STEAM na educação básica**. Curitiba: CRV, 2020.

NOVAK, J. D. **Learning, creating, and using knowledge: concept maps as facilitative tools**. 2. ed. New York: Routledge, 2010.

OBAMA, B. **Educate to innovate**. 2009. Disponível em: <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/president-obama-launches-educate-innovate-campaign-excellence-science-technology-en>. Acesso em: 02 fev. 2025.

OBAMA, B. **Remarks by the President in a National Address to America's Schoolchildren**. Arlington, VA, 8 set. 2009. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/remarks-president-a-national-address-americas-schoolchildren>. Acesso em: 21 set. 2025.

OLIVEIRA, R. T. **Otimização de materiais em impressão 3D: estratégias para redução de custos**. Porto Alegre: Penso, 2023.

PIRKER, J. et al. Virtual reality in STEM education: a systematic review. **Computers & Education**, v. 163, 104094, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104094>.

RAUPP, F. M.; SERRANO, M. A.; MOREIRA, D. A. **Modelagem 3D e suas aplicações educacionais**. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

RESENDE, A. C. **Projetos STEAM na prática: integrando arte e ciência**. São Paulo: Edições SM, 2022.

RESENDE, A. F. de L. C. et al. A impressão 3D como estratégia para o processo de aprendizagem em geometria de estudantes com deficiência visual dos anos iniciais do ensino fundamental. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 5, p. 1-24, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n5-118>.

RIBEIRO, R. J.; SILVA, S. de C. R. da; KOSCIANSKI, A. Organizadores prévios para aprendizagem significativa em Física: o formato curta de animação. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, p. 167-183, 2012.

RILEY, S. **STEAM education: a framework for integrating arts into STEM**. New York: Routledge, 2014.

RODRIGUES, P. L.; SILVA, M. F. Reciclagem de filamentos para impressão 3D: uma abordagem sustentável. **Revista Brasileira de Educação Tecnológica**, v. 10, n. 2, p. 67-82, 2023.

ROSSI, M.; DIOGO, R. C.; MELLO, G. J. Investigações sobre o uso da abordagem STEAM na prática escolar: estado do conhecimento entre 2017 a 2022. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 27, p. e53892, 2025.

SANCHEZ, A. U. et al. Impressão 3D na relação médico-paciente: relato de experiência da integração entre ensino, inovação e assistência. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 48, n. 3, p. e083, 2024.

SANTOS, E. M. **Fablabs educacionais: democratizando o acesso à impressão 3D**. Brasília: Liber Livro, 2023.

SANTOS, J. M. FabLab Educa: um modelo de colaboração em rede para a disseminação da impressão 3D nas escolas públicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2023, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: SBC, 2023. p. 1-10.

SMITH, J. K. **3D printing in education: challenges and opportunities**. London: Springer, 2021.

SOUZA, C. P. de et al. Impressão 3D: uma nova dimensão para o ensino. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 13, p. 1-19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.13-573>.

SOUZA, M. T. D.; SILVA, M. D. D.; CARVALHO, R. D. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010.

SOUZA, R. D. C. S.; SILVA, E. P. Impressão 3D: uma nova dimensão para o ensino. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 12, p. 23795-23808, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/14201>. Acesso em: 21 set. 2025.

SWELLER, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning. **Cognitive Science**, v. 12, n. 2, p. 257-285, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4).

THINGIVERSE. **Chemical – Thingiverse**. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/search?q=Chemical&page=4>. Acesso em: 23 fev. 2025.

TINKERCAD. **Design circuits & 3D models online**. Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 23 jul. 2025.

TRESDCRIAR. **Manufatura aditiva: descubra os maiores na indústria**. 3D Criar, 22 jun. 2023. Disponível em: <https://3dcriar.com.br/manufatura-aditiva-descubra-os-maiores-na-industria/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

WISHBOX. **14 tipos de impressora 3D: veja como funciona cada um**. Wishbox, 11 nov. 2020. Disponível em: <https://www.wishbox.net.br/blog/tipos-de-impressora-3d/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

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

YAKMAN, G. **STEAM education: an overview of creating a model of integrative education**. Virginia: Virginia Tech, [s.d.].